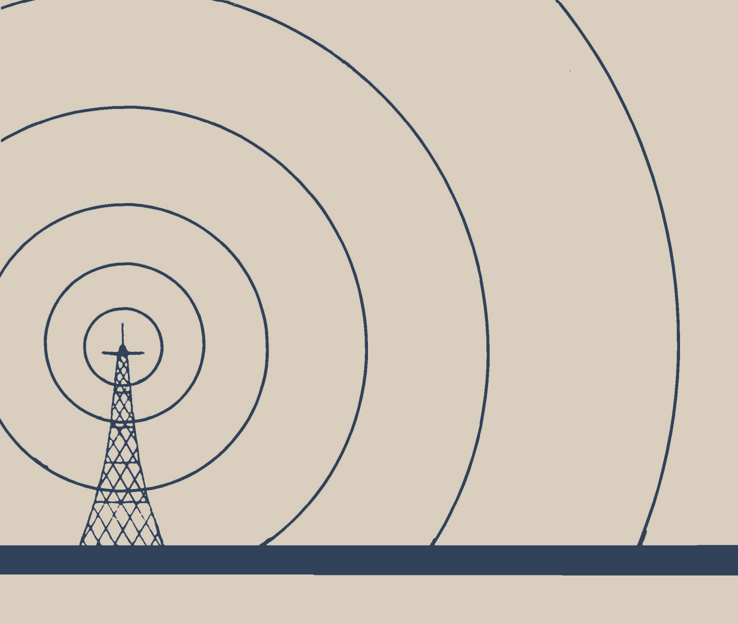
МАССОВАЯ РАДИО-БИБЛИОТЕКА

В. И. ШАМШУР

РАДИОЛОКАЦИЯ





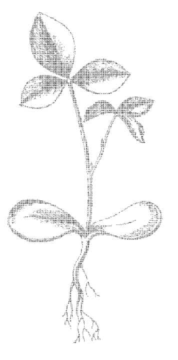
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 37

В. И. ШАМШУР

РАДИОЛОКАЦИЯ





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1949 ЛЕНИНГРАД

В брошюре излагаются физические основы радиолокации, основные принципы работы радиолокационной станции, описываются узлы этой станции, применение радиолокации в военном деле и возможности использования ее в мирных условиях.

Редактор *И. С. Джигит* Технический редактор *С. Н. Бабочкин*

Сдано в набор 25/II 1949 г. Подписано к печати 15/IX-1949 г.
Объем 5 п. л. 4,75 уч.-авт. л. Тип. зн. в 1 п. л. 38 000 Формат бумаги $84 \times 108^1/_{32}$
А-11768 Тираж 50 000 Зак. 2077

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10

ВМЕСТО ВВЕДЕНИЯ

Ночь. На море сильный шторм. Огромный линкор с потушенными огнями крейсирует в море. Возможность встречи с противником в этих условиях исключена. Можно пройти вблизи от вражеского корабля и не заметить его.

Внезапно с командного мостика в артиллерийские башни поступает приказ подготовиться к открытию огня орудиями главного калибра. Через минуту на приборы управления огнем начинают поступать координаты цели. Кромешную тьму ночи прорезают вспышки залпов тяжелых орудий. Далеко у горизонта, в том направлении, куда ушли снаряды, постепенно разгорается зарево. Некоторое время оно освещает горизонт, пока не заканчивается огромным столбом пламени и отдаленным грохотом сильного взрыва.

А вот другие эпизоды.

Улицы большого города. Сумерки. Загораются огни в квартирах. Свет из окон быстро исчезает. Спускаются маскировочные шторы. Наступает темнота. По небу бегут облака. В просветах на мгновения появляется луна.

Кабина автомашины. Небольшой круглый экран, светящийся зеленоватым светом. Вокруг экрана видна шкала с делениями. На экране воспроизводится своеобразная карта местности. Очертания изображений на ней слегка меняются.

Слышен голос: «Азимут 290, расстояние 190 километров. Высота 8 тысяч. Три Ю-88».

Тучи заволокли все небо. Луны уже не видно. Идет дождь. Сквозь шум дождя и вой ветра временами доносится воющий гул немецких самолетов.

Командный пункт. Карта во всю стену. Она освещена сзади. На нее проектируются три силуэта самолетов, движущихся к центру. Перед картой у стола сидит группа старших офицеров. Один из них берет в руки микрофон:

— Сидоров! К тебе направляются трое гостей. Приготовься дать огонь.

— Степанов! Подними в воздух ястребки. Пусть идут в зону ожидания. Высота 8 тысяч.

Зенитная батарея. Из землянок к орудиям выбегают артиллеристы, снимают чехлы, готовятся к открытию огня. Залп. Следы трассирующих снарядов уходят вверх.

Снова карта. Силуэты самолетов несколько приблизились к центру, но заметно изменили курс. Один из силуэтов постепенно тускнеет и затем вовсе исчезает.

Зенитная батарея продолжает вести огонь по невидимым целям. На темном небе появился отблеск: загорелся вражеский самолет.

Прожектор. Солдат смотрит на стрелки приборов и вращает штангу прожектора. Команда: «Дать луч!». Светлая линия прорезает внезапно небо и освещает самолет. Через несколько секунд второй прожектор ловит другой самолет.

Из темноты по освещенным немецким самолетам стреляют истребители. Светятся траектории трассирующих пуль и снарядов самолетных пушек. Немецкие бомбардировщики отстреливаются в темноту. Огонь одного Ю-88 прекращается, самолет начинает снижаться. Второй бомбардировщик резко сворачивает в сторону.

Снова командный пункт. Офицер говорит в микрофон:

— Иванов! Я — Васильев. Самолет влево от тебя 3 километра. Высота 4 тысячи.

Одноместная кабина истребителя. Летчик в шлемофоне. На приборной доске перед ним — небольшой экран. На нем появляется светлое пятно, постепенно перемещающееся в центр экрана. Через некоторое время впереди истребителя становятся видны выхлопные огни моторов «Юнкерса». Пилот истребителя нажимает гашетку.

Не вымысел, а реальность

В этих отрывках нет вымысла, хотя еще не так давно, до начала Великой Отечественной войны, подобные описания можно было найти лишь на страницах фантастических романов, говоривших о технике будущего. Во время Отечественной войны это стало реальностью.

Во второй мировой войне широко применялось новое военное оружие — радиолокация. Основной задачей ее явля-

лось **местоопределение** самолетов, кораблей, объектов обстрела и бомбардировки на земле, в воздухе, на море.

Радиолокация — это новая область радиотехники, ставшая возможной на основе многочисленных достижений радио за последние десятилетия. По сути же дела радиолокация является лишь практическим приложением тех свойств радио, которые впервые были открыты великим русским изобретателем А. С. Поповым через два года после изобретения им самого радио.

Когда наступила настоятельная необходимость в создании и развитии новых средств противовоздушной обороны для борьбы с самолетами, то в рекордно короткий срок на основе открытых А. С. Поповым явлений была разработана радиолокационная аппаратура самого разнообразного назначения.

Очень скоро радиолокация переросла свое первоначальное назначение — средства обороны — и вошла на вооружение авиации, военно-морского флота, артиллерии для нападения на противника. Можно сказать, что именно благодаря радиолокации в значительной мере была изменена тактика войны в воздухе, на море, а отчасти и на суше.

РАЗВИТИЕ РАДИОЛОКАЦИИ В СССР

Явление отражения радиоволн от кораблей, лежащее в основе современной радиолокационной техники, было обнаружено впервые в 1897 г. изобретателем радио Александром Степановичем Поповым во время его опытов по радиосвязи на Балтийском море. Поставив свой передатчик на верхнем мостике транспорта «Европа», а приемник — на крейсере «Африка», А. С. Попов осуществлял передачу и прием радиосигналов на больших по тому времени расстояниях. Однако, когда между двумя этими кораблями проходил третий, то радиосвязь нарушалась, пока суда не сходили с прямой линии.

Занятый организацией радиосвязи, разработкой и усовершенствованием аппаратуры, А. С. Попов не имел времени для того, чтобы глубоко исследовать открытое им новое явление. В своем отчете об опытах изобретатель, однако, указывает на возможность применения этого нового явления для создания радиомаяков, которые могут помочь мореплаванию в тумане или бурную погоду. Поставив передатчики на обычных световых маяках, а соответствующие приемники — на кораблях, можно будет, как говорил изобретатель, обнаруживать близость маяка, а условные сигналы, посылаемые

радиомаяком, позволят определить, какой это маяк. Можно также определять и направление на маяк.

После смерти изобретателя открытое им явление очень длительное время не могло найти себе практического применения вследствие того, что для радиосвязи в эти годы применялись все более и более длинные волны, на которых явление отражения практически не обнаруживалось (для того чтобы установить наличие отраженных радиоволн, длина их должна быть короче, чем отражающий объект, или по крайней мере сравнима с ним).

В 1922 г., через 25 лет после открытия А. С. Поповым отражения радиоволн от кораблей, два американских ученых — Тейлор и Юнг, изучая распространение коротких радиоволн, установили радиопередатчик на одном берегу реки, а приемник — на другом. Когда по реке проходил пароход, то в радиоприемнике возникали искажения. Основываясь на этом, американская печать пытается теперь приписать первенство в области открытия радиолокации своей стране. Нетрудно видеть, что эта затея является по меньшей мере попыткой с негодными средствами, так как по сути дела Тейлор и Юнг лишь повторили опыты Попова и получили аналогичные результаты.

Детальное изучение явлений отражения и рассеяния радиоволн от самолетов и кораблей в СССР проводилось еще в начале 30-х годов. Почему же прошло около 40 лет, прежде чем было практически реализовано открытие А. С. Попова? Ответ на этот вопрос заключается в том, что в современной радиолокационной аппаратуре используются все достижения радиотехники последних лет в области коротких и ультракоротких волн, телевидения, точной измерительной аппаратуры. Без этой технической базы, на создание и развитие которой потребовалось много лет, было бы невозможно конструирование такой точной и сложной радиолокационной аппаратуры, которая позволяет в настоящее время определять расстояние до объектов с ошибкой не более 15 *м*, направление на них с точностью до нескольких минут и т. д.

После смерти изобретателя радио А. С. Попова созданная им радиотехника прошла несколько крупных технических этапов своего развития: первые искровые радиостанции были заменены дуговыми станциями, с которыми соперничали станции с электромашинами высокой частоты. Затем появился новый прибор — электронная лампа, в сравнительно короткое время революционизировавшая радиотехнику и в корне из-

менившая ее аппаратуру. На этом техническом этапе развилась радиотелефония, радиовещание, была открыта возможность осуществления дальних связей на коротких волнах при небольших мощностях. После этого прошел этап бурного освоения коротких волн, очередного развития аппаратуры и наступил, казалось бы, период стабилизации технического уровня радиотехники.

Этот период оказался недолгим. В настоящее время осуществляется новый технический этап развития радиотехники: переход на еще более короткие волны—дециметрового и сантиметрового диапазона. Радиотехника обогащается новой аппаратурой, новыми схемами, электронно-вакуумными приборами. В значительной мере этот новый технический этап радиотехники был вызван ее новой областью — радиолокацией.

Радиолюбитель хорошо знаком с такими деталями радиоприемника, как катушки и конденсаторы, наиболее часто встречающиеся в радиоприемниках. Применение этих деталей, однако, возможно до тех пор, пока они по своим размерам малы по сравнению с длинами волн настройки приемников. Если же надо создать приемник или передатчик на метровые, дециметровые волны, то классические представления радиотехники о том, что катушка—чистая индуктивность, а конденсатор — емкость, становятся неправильными. Катушка на самом деле обладает некоторой емкостью, а конденсатор — индуктивностью. Для контуров, работающих на очень коротких волнах, необходимы иные конструкции, представляющие собой полные колебательные системы в виде трубы, цилиндра, шара, эллипса. Колебания происходят внутри этих контуров, а геометрические размеры таких конструкций определяют частоту колебаний.

При очень высоких рабочих частотах приходится пересматривать также и взгляды на работу электронной лампы. До настоящего времени главным электродом лампы считали ее управляющую сетку. Именно с помощью этого электрода осуществлялись усиление слабых колебаний и генерирование частоты в передатчиках. Теперь же этот способ управления электронным потоком внутри лампы стал неудовлетворителен. Сетка вызывает большие потери, которые возрастают с укорочением рабочей волны. При длинных и коротких волнах лампа не проявляла заметной инерции: изменение напряжения на электродах лампы мгновенно, как казалось нам, меняло анодный ток лампы. Однако, на ультракоротких волнах начинает сказываться инерция электронов, становится заметным

время, которое необходимо электронам для того, чтобы пролететь между электродами лампы. Оно оказывается соизмеримым с частотой колебаний и приводит к тому, что между напряжением и током появляется сдвиг фаз. В результате, чем короче волна, тем меньшую мощность может отдать электронная лампа обычной «классической» конструкции, а при дальнейшем укорочении длины она вообще перестает работать. Поэтому потребовалась разработка специальных электровакуумных приборов, в которых вовсе нет сеток и используются новые принципы управления электронным потоком.

Появление радиолокации было обусловлено настоятельной необходимостью в разработке новых технических средств борьбы с возможностью внезапного нападения вражеских самолетов. Разработка радиолокационной аппаратуры привела к очередному новому этапу развития радиотехники.

Все основные этапы, обеспечивающие создание и развитие радиолокации, были разработаны советскими учеными и специалистами.

Русский ученый, проф. Б. Л. Розинг еще 25 июля 1907 г. подал заявку на «Способ электрической передачи изображений на расстояние». Для приема этих изображений он впервые в мире предложил применить электронно-лучевую трубку с магнитной разверткой. Этот метод индикации в настоящее время широко применяется в отметчиках радиолокационных станций самых различных типов и назначения. В этот же период другой русский ученый Л. И. Мандельштам разработал схемы и методику применения электронно-лучевой трубки для изучения с ее помощью быстрых электрических колебаний. Работы Л. И. Мандельштама лежат в основе современных методов электронно-лучевой осциллографии. Современный осциллограф, создание которого столь многим обязано Л. И. Мандельштаму, широко применяется и как электронно-лучевой отметчик радиолокационной станции и как прибор, необходимый для ее контроля, проверки, налаживания.

Первые радиолокационные станции работали на ультракоротких волнах, изучение которых в СССР акад. Б. А. Введенский начал еще в 1922 г. Через несколько лет после этого он уже вел изучение явлений, вызывавших изменение силы приема в том случае, когда между передатчиком и приемником ультракоротких волн находились какие-либо предметы. Изменения силы приема были настолько заметны, что позволили указать на возможность использования этого явления для

радиообнаружения объектов. В эти годы изучение ультракоротких волн на западе еще только начиналось.

Продолжая свои работы, акад. Б. А. Введенский в 1928 г. вывел формулу (получившую в нашей технической литературе название «квадратичной» или «отражательной»). Эта формула определяла дальность распространения ультракоротких волн в пределах горизонта, указывала, что сила приема обратно пропорциональна квадрату расстояния и прямо пропорциональна произведению высот антенн (передатчика и приемника) над землей. Примерно аналогичная формула на западе была опубликована лишь через 5 лет. В период 1935—1936 гг. акад. Б. А. Введенский опубликовал результаты своих работ по изучению явлений дифракции. Работы советских ученых в области дифракции электромагнитных волн нашли полное теоретическое завершение в трудах акад. В. А. Фока, давшего математически строгое решение задачи. Оказалось, что распространение сантиметровых волн и дифракция их в первом приближении подчиняются законам геометрической оптики; нельзя ожидать заметного увеличения дальности действия радиолокатора за счет явления дифракции. Работы акад. В. А. Фока были удостоены Сталинской премии.

В 1930 г. инж. С. Н. Какурин предложил оригинальную идею телевидения, заключавшуюся в получении изображений предметов не путем освещения их световыми волнами, с последующим превращением их в электрические колебания, как это осуществляется в современном телевидении, а путем облучения таких предметов радиоволнами. По предложению инж. С. Н. Какурина отраженные от предметов радиоволны следовало принимать при помощи специальных устройств, которые преобразуют отраженные волны в видимое изображение предмета.

Теперь мы можем сказать, что предложение С. Н. Какурина как бы предвосхищало лишь зарождавшуюся в те годы радиолокационную технику и технику телевидения, говорило о подлинном «дальновидении». В некоторой мере идея С. Н. Какурина была реализована во время Великой Отечественной войны, когда были созданы радиолокационные станции кругового обзора (панорамные). На экранах индикаторов таких станций воспроизводились контуры окружающей местности. На кораблях такие станции помогали наблюдать за обстановкой на море, осуществлять навигацию, определять место корабля в море по отражениям от берегов, скал и сравнению их с очертаниями береговой линии на карте. На самолетах

подобные станции воспроизводили на экранах грубую контурную карту местности, над которой летел самолет.

Долгое время в физике высказывалось предположение, что свойства поверхности земли существенно влияют на скорость распространения электромагнитных волн. Для того чтобы проверить это предположение, акад. Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси разработали метод точного измерения скорости распространения радиоволн, основанный на явлении интерференции. Измерения, проведенные этими советскими учеными, показали, что скорость распространения радиоволн над поверхностью земли практически не зависит от свойств почвы и совпадает со скоростью света в пустоте. Продолжая далее свои работы в этой области, акад. Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси разработали интерференционный метод измерения расстояний с помощью радиоволн, легший в основу новых методов точной радионавигации. Практически эти методы применялись в Главсевморпути задолго до Отечественной войны, тогда как на западе только в конце второй мировой войны были разработаны способы радионавигации, полностью использующие интерференционный метод советских ученых. Однако, об этом заимствовании в рекламных статьях английских журналов, описывающих системы навигации «Декка» и «Пиопиай» как новые и оригинальные, не упоминается ни одним словом.

В самом конце Отечественной войны практическое применение радиолокаторов показало, что при определенных условиях состояния температуры и влажности атмосферы наблюдается распространение сантиметровых волн на очень большие расстояния, в несколько раз превышающие нормальную дальность действия радиолокаторов. Работы в этой области на западе до сих пор не вышли из стадии накопления опытных данных, эмпирических заключений. Молодой советский ученый П. Н. Краснушкин разработал теорию распространения очень коротких радиоволн в «атмосферных волноводах», значительно более строгую и полную, чем на западе.

Большое значение имеют работы акад. М. А. Леонтовича и Е. Л. Файнберга, указавших пути определения влияния шероховатостей почвы на распространение радиоволн.

Распространение дециметровых волн М. Т. Грехова и В. М. Бовшеверов исследовали еще в 1930 г. В 1933 г. на Черном море акад. Б. А. Введенский с группой своих ближайших сотрудников осуществил связь на волне 60 сантиметров на расстоянии более 100 *км*. В передатчике применялся разрезной

магнетрон, разработанный А. А. Слуцкиным, М. А. Слиозбергом и В. М. Бовшеверовым.

Широко известный в Советском Союзе, выдающийся ученый, член-корреспондент А. Н. СССР М. А. Бонч-Бруевич, создатель первых советских электронных ламп для приема и передачи, строитель первых радиовещательных станций по прямому заданию Владимира Ильича Ленина, в последние годы своей жизни много и плодотворно работал над развитием радиолокации. Он вел работы по созданию волноводов, рупорных антенн, выдвинул идею современного многокамерного магнетрона, который был осуществлен инж. Н. Ф. Алексеевым и Д. Е. Маляровым в 1936—1937 гг. Опубликованная этими авторами статья «Получение мощных колебаний магнетроном в сантиметровом диапазоне волн» («Журнал Технической Физики», 1940, т. X, вып. 15) в огромной мере облегчила возможность англичанам, а затем американцам изготовить конструкции мощных магнетронов сантиметрового диапазона, представляющих собой главную часть современной радиолокационной станции. Эта статья тотчас после опубликования ее в советской печати была переведена и перепечатана в английских и американских журналах.

Проф. М. С. Нейман еще до Отечественной войны разработал теорию объемных резонаторов — колебательных контуров, играющих очень важную роль в современной аппаратуре сантиметрового диапазона, где лампа и контур представляют собой единое целое. Он же и М. А. Бонч-Бруевич независимо друг от друга предложили новый вид антенн для сантиметровых волн — так называемые щелевые или дифракционные антенны, теорию и практику которых успешно разработали член-корреспондент А. Н. СССР А. А. Пистолькорс и доктор техн. наук Я. Н. Фельд.

М. А. Бонч-Бруевич впервые предложил осуществление точного пеленга с помощью вращения антенны радиолокатора. Этот принцип нашел широкое применение в практических конструкциях различных радиолокационных станций.

Исследования и конструирование электронно-вакуумных приборов, работающих на волнах дециметрового и сантиметрового диапазонов, проведенные советскими конструкторами Н. Д. Девятковым, М. Д. Гуревичем и В. К. Хохловым, позволили создать новые лампы, работающие в качестве генераторных на всем диапазоне дециметровых волн и в качестве усилительных по схеме с заземленной сеткой.

В развитии основных вопросов теории и практики импульс-

ной техники, широко применяемой в современной радиолокационной аппаратуре, ведущую роль играют работы советских ученых. Еще в 1918 г. М. А. Бонч-Бруевич в своей работе «Комбинированные характеристики катодных реле» описал схему, имеющую падающий участок вольтамперной характеристики. Несмотря на столь длительный промежуток времени, истекшего с тех пор, схема М. А. Бонч-Бруевича мало чем отличается от современных схем создания пусковых импульсов и схем мультивибраторов.

Строгая трактовка явлений, проходящих в мультивибраторе, была дана в книге «Теория колебаний» А. А. Андронова и С. Э. Хайкина, выпущенной в свет в 1937 г. Нелинейная теория, созданная акад. Л. И. Мандельштамом и Н. Д. Папалекси, является основой для разработки многих практических схем и устройств импульсной техники.

Уже в 1941 г. группа научных работников—Ю. Б. Кобзарев, П. А. Погорелко, Н. Я. Чернецов — была удостоена Сталинской премии «за изобретение прибора для обнаружения самолетов». В последующие годы количество лиц, награжденных Сталинской премией за дальнейшие усовершенствования и улучшения в области радиолокации непрерывно увеличивалось. Среди лиц, удостоенных этой высокой награды, были научные работники и инженеры-конструкторы заводов советской радиопромышленности.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАДИОЛОКАЦИИ

1. Как работает радиолокационная станция

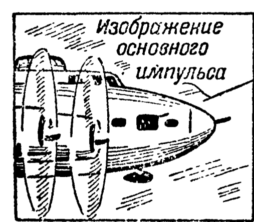
В радиолокационной технике местонахождение объекта определяется с помощью радиоволн. Подобно тому как звук отражается от стен, свет — от зеркала, так и радиоволны, встретив на своем пути какое-либо препятствие, рассеиваются им во все стороны и частично отражаются обратно к месту посылки радиоволн, т. е. к радиолокационной станции.

Туман, облака, темнота не влияют на радиоволны. Луч прожектора в густых облаках не пробьет себе дорогу к самолету, тогда как для радиоволн подобных препятствий не существует.

Можно сказать, что радиолокационная техника как бы значительно расширила возможности человеческого зрения. Она не только обнаруживает, но и помогает определить место, расстояние до самолетов, кораблей, подводных лодок, всплывших на поверхность или идущих под перископом, танков, автомашин и т. д.

На самолете радиолокационная станция помогает различать землю в полной темноте, сквозь облака, найти другой самолет в воздухе, корабль на море, определить берега рек, озер на пути полета. Однако, фотография, снятая с самолета при благоприятных условиях оптической видимости, даст значительно большую четкость изображения, чем экран радиолокационной станции.

Пользуясь для определения расстояния радиоволнами, обладающими, как известно, скоростью распространения в 300 000 *км/сек*, радиолокационные станции должны точно измерять чрезвычайно короткие отрезки времени между посыл-







Фиг. 1. Изображения зондирующего и отраженного импульсов на экране индикатора радиолокационной станции с разверткой типа А.

кой радиоволн и возвратом их обратно после отражения от объекта. Для точного определения расстояния до обнаруженного объекта была разработана специальная аппаратура. Она позволяла быстро отсчитывать время, истекшее с момента посылки радиоволны станцией и до того мгновения, когда на экране станции появляется изображение отраженной волны, переводить отсчитанное время между посылкой и возвращением волны в пройденное ею расстояние, пользуясь тем, что скорость распространения волн в обе стороны можно считать одинаковой.

Чтобы облегчить отсчет времени между посылкой радиоволн и возвратом их обратно, радиолокационная станция работает в режиме, который называют и м п у л ь с н ы м. Станция излучает кратковременную «порцию», «пакет» радиоволн, после чего передатчик мгновенно автоматически выключается. С этого момента начинает работать радиоприемное устройство, производя прием волн, отражающихся от различных препятствий и объектов на пути распространения. Далее цикл повторяется: вновь на очень короткий промежуток времени включается передатчик, затем приемник и т. д.

Из приемника сигналы от отражающего объекта поступают на электронно-лучевую трубку — так называемый индикатор. Способов воспроизведения отраженных импульсов на экранах индикаторов радиолокационных станций существует довольно много. Они зависят в первую очередь от основного назначения станции. При излучении импульсов радиолокационной станцией в простейшем типе индикатора на экране электронно-лучевой трубки вспыхивает светящаяся линия (фиг. 1). В тот момент времени, когда в индикатор поступает отраженный импульс, на светящейся линии появляется его условное изображение — треугольник. Во время приемной паузы на станцию могут вернуться отраженные импульсы от объектов, находящихся на разном расстоянии от станции. Самые близкие появятся у начала светящейся линии, а остальные расположатся на ней в зависимости от расстояния. Нанеся на экран такого индикатора масштабные деления в виде линейки, можно с достаточной точностью определить и расстояние до каждого объекта, вызвавшего отражение радиоволн.

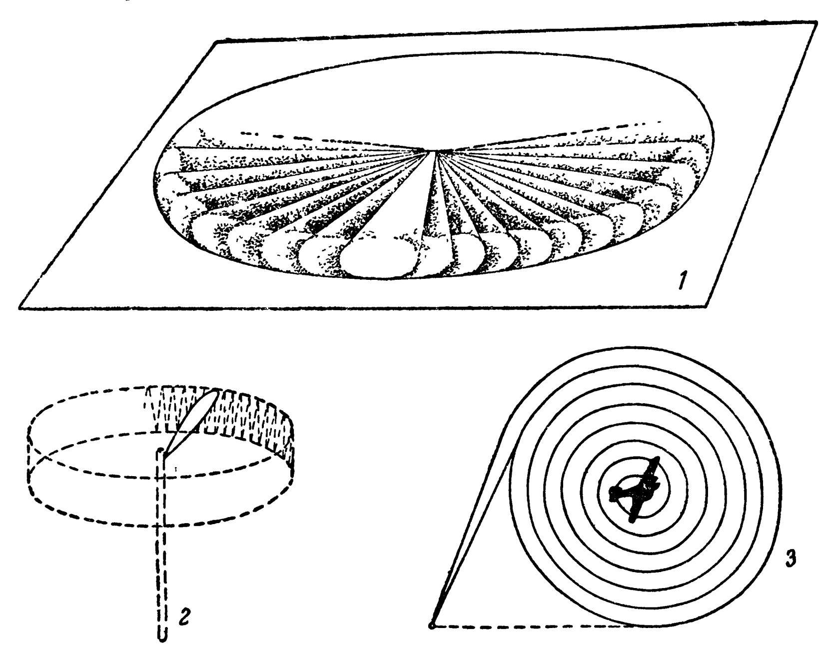
Чтобы определить направление, в котором находится объект, вызвавший отражение, радиолокационные станции излучают радиоволны, сосредоточенные в очень узком пучке. Для этого, чтобы «осмотреть» все окружающее пространство, антенны радиолокационных станций можно вращать в горизонтальной плоскости и перемещать—в вертикальной. Применение узкого пучка и возможность его перемещения позволяют определять направление на объект, а кроме того, определять высоту самолета (фиг. 2).

Если антенна радиолокационной станции направлена в данный отрезок времени, скажем, на восток (азимут 90°) и на экране индикатора станции в это мгновение появился импульс, отраженный от объекта, находящегося на расстоянии, скажем, 15 *км*, то азимут его равен также 90°. С момента излучения импульса радиолокационной станции и возврата его после отражения от объекта на расстоянии 15 *км* прошло всего 200 *мксек*[1], и за этот чрезвычайно небольшой отрезок времени ни антенна станции, ни сам отражающий объект не могли резко изменить своего направления.

Обладая большой мощностью импульсного излучения, очень чувствительными приемными устройствами, сложными антеннами для обеспечения высокой направленности, радиолокационные станции в то же время представляют собой

[1] *Мксек*—микросекунда, т. е. одна миллионная доля секунды.

чаще всего передвижные устройства, расположенные в одной или нескольких автомашинах. Небольшие размеры антенны, сравнительная компактность конструкции объясняются, главным образом, тем, что в радиолокационной аппаратуре применяются очень короткие волны — метровые, дециметровые и сантиметровые.



Фиг. 2. Различные способы облучения пространства для обнаружения объектов.

1 — антенна вращается в горизонтальной плоскости; *2* — вращаясь по азимуту, антенна одновременно несколько перемещается и по высоте; *3* — облучение по спирали.

Выбор длины волны и ряда других технических параметров, таких, как излучаемая мощность, чувствительность приемника, направленность антенной системы, длительность и частота повторения импульсов, тип индикации и т. п., всецело зависят от тактического назначения радиолокационной станции и предъявляемых к ней требований по дальности действия, разрешающей способности (т. е. возможности видеть раздельно отраженные импульсы двух близко друг от друга расположенных объектов), точности определения координат,

минимальной дистанции и т. п. Поэтому пределы изменения технических параметров станций на практике достаточно широки

Мощность излучения для станций различного назначения колеблется от 1 до 1 000 *квт* в импульсе.

Длительность импульсов в зависимости от назначения станции может лежать между 0,1 и 50 *мксек*.

Частота повторений (посылок) импульсов в секунду также бывает различна и лежит в пределах 50—5 000 раз в секунду.

Ширина диаграммы излучения радиолокационной станции, также имеющая большое значение, может для разных станций меняться в пределах от 30—40° до 0,5°.

2. Скелетная схема

На фиг. 3 приведена скелетная схема станции обнаружения. Эта схема отнюдь не исчерпывает всего практического разнообразия схем радиолокационных станций. Отдельные узлы схемы, обведенные пунктиром, могут и не встречаться во многих типовых схемах, равно как в некоторых типах станций можно найти узлы, не показанные на фиг. 3.

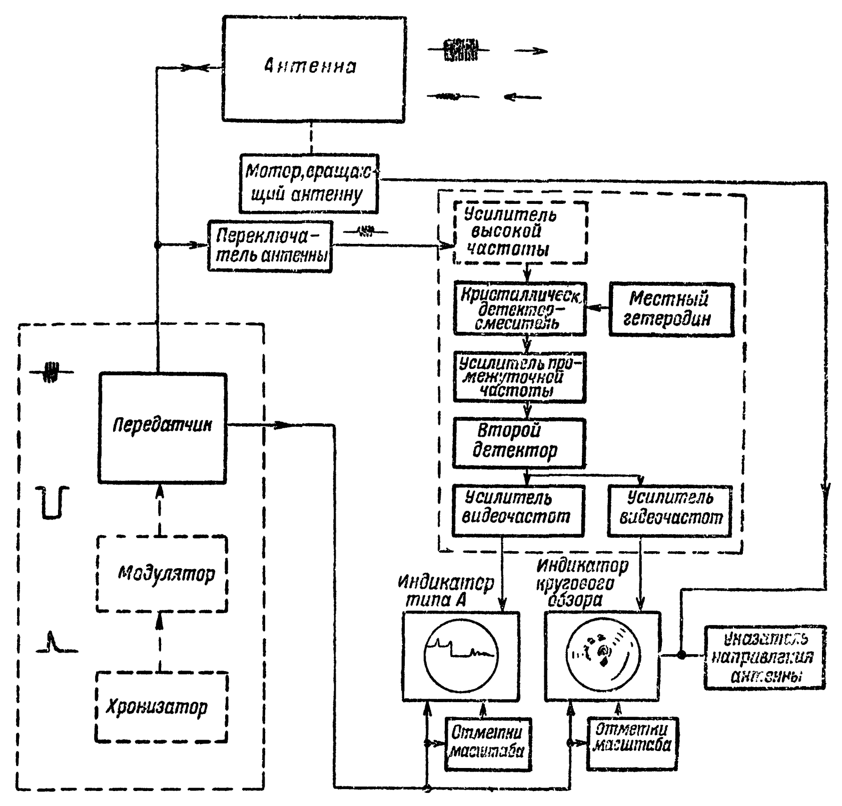
Начнем с рассмотрения нижней левой части схемы. Назначение хронизатора — задавать частоту повторений импульсов, излучаемых станцией. Величина, обратная частоте повторений, определяет время между излучением импульсов, т. е. паузу, в течение которой ведется прием. Сам по себе хронизатор состоит из генератора и формирующих ламповых контуров, в которых импульсу, создаваемому хронизатором, придается определенная форма. Этот импульс в технической литературе часто называют пусковым.

Пусковой импульс от хронизатора поступает на модулятор. В этом узле станции пусковой импульс приобретает нужную амплитуду и форму, усиливается по напряжению до нескольких киловольт, после чего поступает на генератор колебаний сверхвысокой частоты, который генерирует только в момент приложения пускового импульса.

В генераторах колебаний сверхвысокой частоты современных радиолокационных станций работают реже генераторные триоды и чаще магнетроны. Рабочая частота радиолокационных станций лежит в пределах 100—10 000 *мггц*. На нижней части этого диапазона частот можно применять триоды, тогда как для верхней части необходим генератор на магнетроне.

Созданные передатчиком импульсы колебаний сверхвысокой частоты подаются по так называемым фидерам или волноводам в антенну.

На пути электромагнитных волн от передатчика к антенне находится переключатель антенны с приема на передачу.



Фиг. 3. Скелетная схема радиолокационной станции.

Для радиолокационной станции, работающей в импульсном режиме, т. е. поочередно излучающей и принимающей импульсы, нет надобности в двух отдельных антеннах. Одна антенна может выполнять обе функции, но для этого ее надо поочередно подключать либо к фидеру, соединяющему ее с передатчиком, либо к фидеру, соединяющему антенну с приемником. Эти соединения и выполняет переключатель, являю-

щийся газовым резонансным разрядником, работающим автоматически при излучении импульса передатчика.

Общим свойством радиолокационных антенн всех конструкций является наличие направленного действия, т. е. излучения электромагнитных волн достаточно узким пучком как в горизонтальной, так и зачастую в вертикальной плоскостях Такой узкий луч, последовательно прощупывая все точки пространства, позволяет очень точно определить местонахождение обнаруженного объекта.

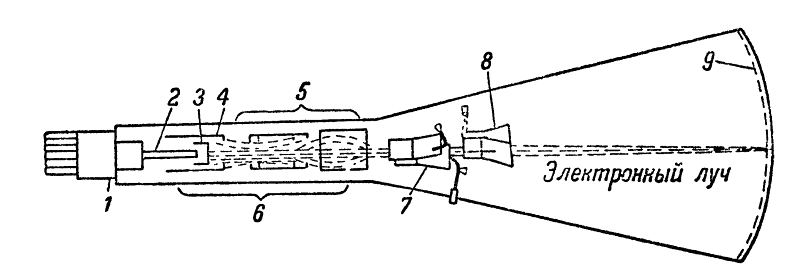
Если радиолокационная станция должна вести поиск целей только, например, по поверхности моря, то излучению электромагнитной энергии достаточно придать узкую форму лишь в горизонтальной плоскости. Если же станция должна вести поиск самолетов, то излучение должно быть узко и в вертикальной плоскости.

К приемному устройству станции предъявляются очень строгие требования. Во-первых, приемник должен быть очень чувствительным, чтобы воспринимать весьма слабые отраженные импульсы, например от небольшого самолета, летящего на значительном удалении от радиолокационной станции, во-вторых, принятый отраженный импульс не должен претерпеть каких-либо искажений его вида и формы при тех преобразованиях, которым он подвергся в различных каскадах приемника.

Принятый сигнал рассматривается на экране индикатора, основным элементом которого является электронно-лучевая трубка.

Запуск работы электронно-лучевой трубки индикатора происходит по большей части одновременно с подачей на передатчик пускового импульса. Электронно-лучевая трубка по наружному виду представляет собой конусообразную колбу (фиг. 4). Основание конуса — экран трубки, покрытый химическим составом, который светится под ударами попадающих на него электронов. В узком конце колбы расположен ряд электродов трубки, образующих «электронную пушку». Это — нить накала и катод, который при подогреве нити накала электрическим током испускает поток электронов; сетка — электрод, управляющий плотностью электронов; далее расположен один или несколько анодов, роль которых заключается в ускорении движения электронов и их фокусировке в узкий пучок. Между экраном и анодами находятся две пары отклоняющих пластин. Две пластины расположены вертикально. Если на одну из этих пластин подать положительное напря-

жение, то поток заряженных отрицательно электронов станет притягиваться этой пластиной и, следовательно, пучок сместится вправо или влево. Другие две пластины расположены горизонтально. Если на одну из них подать положительное напряжение, то пучок электронов под действием этого напряжения метнется вверх или вниз в зависимости от того, к какой пластине было подведено это напряжение. Подавая напряжение то на правую, то на левую вертикальные пластины, можно заставить пучок электронов прочертить светящуюся горизонтальную линию на экране, в то же время перемещая ее

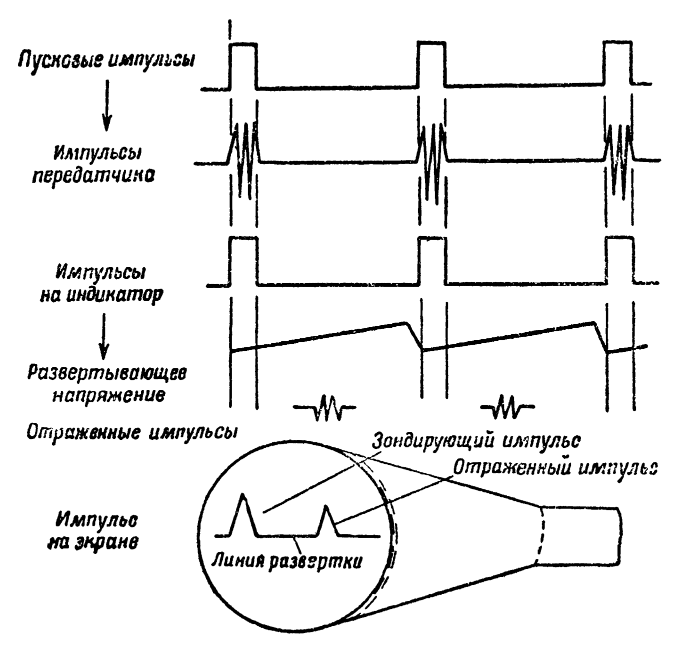


Фиг. 4. Устройство электронно-лучевой трубки.
1 — цоколь; *2* — нить подогрева; *3* — катод; *4* — управляющий электрод; *5* — аноды *6* — электронная пушка; *7*—*8* — отклоняющие пластины; *9* — экран.

вверх или вниз. Последовательная подача различных напряжений на все четыре пластины может заставить пучок электронов начертить самые разнообразные кривые и описать круг на экране. Осуществляя подобный процесс подачи быстро меняющихся напряжений на отклоняющие пластины трубки, можно добиться того, что человеческий глаз увидит на экране не световое пятно, а линию, круг или другую кривую.

Приложив к горизонтально отклоняющим (вертикальным) пластинам переменное напряжение пилообразной формы, мы заставим световое пятно чертить на экране горизонтальную линию со строго постоянной скоростью. Расстояния между отдельными точками на этой линии будут пропорциональны времени, необходимому для того, чтобы световое пятно прошло такую дистанцию. Такая линия используется для измерения промежутков времени: так как скорость распространения радиоволн во все стороны одинакова, то равные промежутки времени могут служить и для определения расстояния, пройденного радиоволнами за это время.

Лишь только хронизатор пошлет пусковой импульс к модулятору и через него к передатчику, одновременно некоторая часть энергии этого импульса поступает и на индикатор. Под действием этого импульса генератор пилообразных напряжений заставит световое пятно чертить горизонтальную линию. В начале этой линии возникает бросок ее вверх, соответствующий зондирующему импульсу (фиг. 5). Он обозна-



Фиг. 5. Формы импульсов в отдельных узлах радиолокационной станции.

чает начало отсчета расстояния. Этот бросок вызывается тем, что очень небольшая часть энергии излученного импульса попадет в приемник, из него в индикатор и затем на вертикально отклоняющие пластины трубки.

Пока излученный импульс движется в пространстве, например от радиолокационной станции на корабле к береговому утесу, световая линия на экране бежит от левого края к центру и будет так бежать слева направо все время, пока импульс не достигнет утеса, не отразится от него и не возвратится обратно. Когда же отраженный импульс вернется к

радиолокационной станции, пройдя через приемник, поступит на индикатор и вертикально отклоняющие пластины трубки, световая линия сделает под влиянием этого напряжения новый бросок вверх. По градуированной шкале под линией развертки нетрудно прочесть расстояние от станции до объекта, вызвавшего отражение радиоволн. Второй бросок всегда меньше по размерам, потому что отраженная энергия много меньше первоначальной.

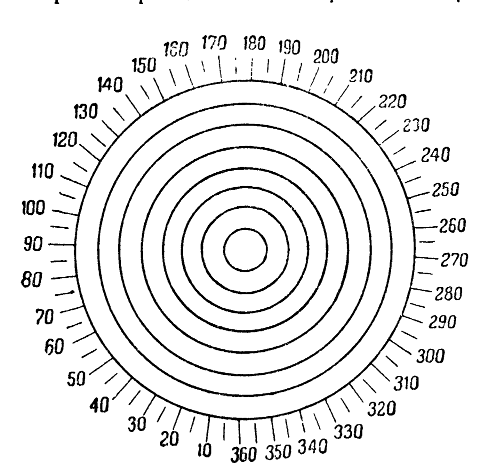
Описанные выше действия происходят с такой быстротой. что человеческий глаз не в состоянии установить момент посылки импульса, возникновения светящейся линии на экране, ее исчезновения и затем нового цикла. Светящаяся линия кажется глазу непрерывной, на ней все время виден зондирующий импульс, а время от времени в соответствии с вращением антенны возникают отраженные импульсы на разных расстояниях.

Максимальная дальность действия радиолокационных станций бывает точно определена заранее. Шкала расстояний на экране индикатора в соответствии в этим имеет тот или иной масштаб. Так, например, по экрану электронно-лучевой трубки станции орудийной наводки, дальность действия которой в среднем равна 30 *км,* световая точка, образующая линию, пробегает очень быстро, тогда как на экране станции дальнего обнаружения самолетов с дальностью в 150—200 *км* световая точка движется соответственно в 5—7 раз медленнее. Импульсы, отраженные от движущихся целей, не остаются на одном месте световой линии, а перемещаются по ней. Для более точного измерения расстояния до обнаруженного объекта применяют специальный генератор, напряжение которого создает вертикальный уступ на линии развертки (фиг. 3). Этот уступ можно перемещать по линии развертки вращением ручки специального калиброванного потенциометра. Оператор, обнаружив отраженный импульс, вращает ручку потенциометра до тех пор, пока уступ не совпадет с отраженным импульсом, и по совмещении считывает дальность прямо по шкале потенциометра, калиброванной в единицах расстояния.

Описанная выше работа индикатора радиолокационной станции относится к так называемому индикатору типа А. Он неудобен тем, что не дает одновременной картины всей воздушной обстановки. Изображения на экране меняются по мере вращения антенны.

Изображения всех объектов, находящихся в зоне действия радиолокационной станции, в известной мере напоминающие

географическую карту, можно получить, применяя индикатор кругового обзора (фиг. 3 и 6). При круговом обзоре световая линия развертки времени начинается в центре экрана трубки и движется к краю экрана, смещаясь каждый раз радиально по часовой стрелке. Антенна радиолокационной станции в этой системе вращается с помощью электромотора. Вращение антенны в каждый момент времени электрически с помощью синхронно-следящей системы воздействует на электронный луч трубки и заставляет световую линию развертки вращаться синхронно с вращением антенны. Применение обычных электроннолучевых трубок с экраном, обладающим очень малой инерцией, в индикаторах кругового обзора не достигает цели, так как все сигналы отражающих объектов мгновенно пропадают. Поэтому в данном случае необходимо применение электроннолучевой трубки с экраном, обладающим так называемым послесвечением, т. е. сохраняющим свечение в течение определенного промежутка времени. Каждый раз, когда поступает отраженный импульс и, проходя через приемник, воздействует на экран, последний несколько усиливает свое свечение в данном месте, и это свечение остается видимым некоторое время. Таким путем на экране воспроизводится некоторое подобие географической карты вокруг станции, причем последняя находится в центре экрана (карты).



Фиг. 6. Экран индикатора кругового обзора.

Для индикаторов с разверткой типа А применяются обычно электронно-лучевые трубки с электростатическим отклонением, тогда как для индикаторов кругового обзора более пригодны трубки с электромагнитным отклонением. В таких трубках отклонение луча осуществляется с помощью катушек, ток в которых изменяется линейно со временем. Калиброванные отметки, облегчающие определение расстояния до обна-

руженного объекта, воспроизводятся с помощью специальной схемы, создающей на экране ряд концентрических окружностей. Для более точного определения расстояния применяется перемещающаяся (подвижная) окружность подобно уступу, применяемому для аналогичной цели в индикаторах с разверткой типа А. Изменяя радиус подвижной окружности с помощью штурвала, оператор станции может совместить эту окружность с отраженным импульсом и определить расстояние по показаниям счетчика, связанного со штурвалом.

В большинстве типов радиолокационных станций, в которых применяется вращение антенны, имеется индикатор азимута, с помощью которого определяется азимут обнаруженного объекта.

3. Технические параметры станции

Даже первое знакомство с радиолокационной техникой показывает, что в ней имеются такие технические особенности, с которыми ранее радиолюбитель в своей практике не встречался.

На самом деле, в учебниках для радиолюбителей, в курсах основ радиотехники изложение вопросов теории радиопередачи и радиоприема начинается с рассмотрения установившихся процессов. Моменты, когда только что включен передатчик или приемник, в книгах обычно не рассматривают. Как работает в эти очень короткие мгновения схема, что происходит в контурах и лампах, книги не рассказывают. Они называют такие процессы в схемах нестационарными, неустановившимися и для упрощения изложения принимают, что постоянное или переменное электрическое напряжение или ток сразу же при включении источника его достигают своего нормального значения или мгновенно исчезают, как только прекратилось действие этого источника. Анализ работы схемы более прост, если считать, что в данном режиме схема работает давно и он постоянен, не изменяется. Такие процессы называют поэтому установившимися или стационарными.

В радиолокационной технике преобладающее значение имеют неустановившиеся процессы. Можно сказать, что именно они характеризуют работу передатчика, приемника и других узлов радиолокационной станции. Если в радиовещательном передатчике конструктор стремится обеспечить неискаженную передачу во всех каскадах, то в схеме передатчика радиолокационной станции (включая сюда хронизатор, моду-

лятор) предусматриваются каскады, искажающие первоначально созданный импульс—его форму, длительность, амплитуду и при том так, чтобы эти искажения дали в итоге нужный результат. Если в радиовещательном передатчике стремятся сочетать противоречащие друг другу требования неискаженного воспроизведения речи и музыки и работы в достаточно узкой отведенной для данного передатчика полосе частот, то конструктор передатчика радиолокационной станции с такой трудностью не встречается: его передатчик должен работать в диапазоне метровых или, что более часто, сантиметровых волн, где, во-первых, тесноты в эфире нет, а, во-вторых, при кратковременности импульсной работы подобного передатчика заведомо необходимо обеспечить пропускание возможно более широкой полосы частот, чтобы не исказить формы излучаемого импульса. По той же причине и приемник радиолокационной станции конструируется так, чтобы он обладал широкой полосой пропускания.

Поскольку в нашем изложении речь будет итти об импульсном режиме, остановимся на том, что понимается под таким определением. Импульсом напряжения или тока называют кратковременное отклонение этого напряжения (тока) от постоянного значения, причем это постоянное значение в ряде случаев может быть равно нулю. Кратковременным можно назвать такой промежуток времени, который по своей длительности сравним со временем установления процесса в той электрической схеме, к которой подан подобный импульс. Практически в радиосхемах длительность установления равна тысячным или миллионным долям секунды и, таким образом, длительность импульса имеет тот же порядок.

Если через схему должно проходить несколько следующих друг за другом импульсов и если действие каждого импульса не должно зависеть от предыдущего, то к началу каждого очередного импульса действие предыдущего должно закончиться. Следовательно, между концом одного импульса и началом другого должен пройти промежуток времени больший, чем время установления режима в данной схеме.

По форме можно различать импульсы трапецоидальные, треугольные, прямоугольные. Импульс, имеющий форму трапеции, наиболее часто встречается практически в радиолокационной технике. Для того чтобы создать прямоугольный импульс, надо, чтобы напряжение мгновенно возросло до своего максимального значения, задержалось на этом значении положенный отрезок времени и затем столь же мгновенно упало

до нуля. Практически это невозможно: из-за неизбежных процессов установления режима в схеме для возрастания и спадания напряжения требуется некоторое время, а это значит, что всякий импульс на самом деле напоминает собой скорее по форме трапецию.

Импульс можно характеризовать его параметрами. К ним относятся: длительность импульса — время его действия, измеренное по основанию (в радиолокационной технике чаще всего измеряют длительность импульса микросекундами); частота повторения импульсов — их количество в секунду; фронты импульса — боковые стороны его, характеризующие нарастание и спад импульса. Основное значение имеет передний фронт, характеризующий нарастание. Чем меньше то время, в течение которого импульс достигает своего максимального значения, тем круче фронт его; период между импульсами — время в микросекундах между началами двух последовательных импульсов; полярность импульса — положительная или отрицательная.

Кроме технических параметров импульса, ряд других технических особенностей влияет на работу радиолокационной станции. Остановимся несколько подробнее на рассмотрении технических особенностей радиолокационной станции и зависимости ее работы от этих параметров.

Максимальная дальность действия станции, на которой она может обнаружить отражающий объект, зависит от мощности, излучаемой в импульсе, от длительности импульса, частоты повторений импульсов, высоты антенны над землей (водой), ширины диаграммы направленности антенны, чувствительности приемника, типа индикатора, размеров, состава и высоты отражающего объекта. Дальность действия (без учета влияния земли) пропорциональна корню четвертой степени из импульсной мощности, так называемого «выигрыша» антенны, т. е. величины ее направленности, благодаря которой энергия, излучаемая станцией, концентрируется в узкий луч, и рассеивающей площади отражающего объекта. Кроме того, дальность действия обратно пропорциональна корню четвертой степени из минимально допустимой мощности отраженного импульса. Из этих соотношений можно сделать следующие выводы: для повышения дальности действия нужно или увеличить мощность передатчика радиолокационной станции, или чувствительность приемника ее. Однако, удвоение мощности передатчика вследствие зависимости от корня четвер-

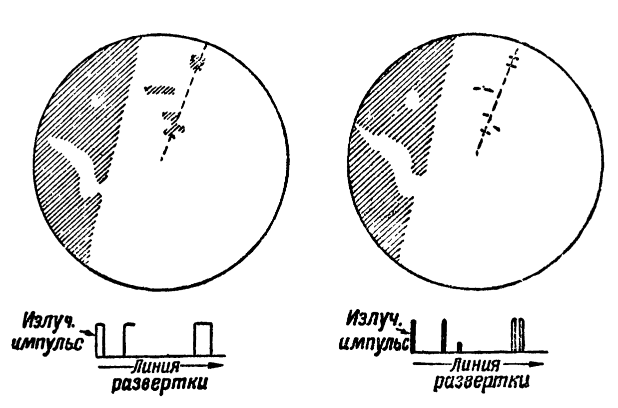
той степени повысит дальность действия станции только на 20%. Для того чтобы повысить дальность действия вдвое, нужно увеличить мощность в импульсе в 16 раз. Очевидно также, что дальность действия возрастет, если антенне ее будет придана большая направленность или обнаруживаемый объект будет иметь большие размеры.

Чтобы повысить дальность действия радиолокационной станции, можно увеличить величину «выигрыша» антенны, т. е. ее направленное действие. Концентрируя электромагнитную энергию в более узкий пучок, такая антенна создает более мощное излучение в данном направлении и этим выигрывает в дальности действия. Практически этот метод не всегда возможен. Во-первых, увеличение выигрыша антенны неизбежно связано с увеличением размеров ее, а это усложнит вращение ее, возможность транспортировки станции и т. д. Во-вторых, увеличение выигрыша антенны приводит к сужению луча. Такое сужение улучшает качество работы радиолокационной станции, дает более точное определение направления на цель, облегчает возможность раздельно наблюдать цели, находящиеся на близких азимутах, но, например, для станции дальнего обнаружения целей на больших расстояниях и в большом участке пространства поиск их при узком луче становится более затруднительным и требует большего времени.

На дальности действия радиолокационной станции сказывается и выбор частоты повторения импульсов. Пусть эта частота была невелика вначале, а затем ее повысили. При наличии на станции индикатора типа А это увеличит видимость на экране слабых отраженных импульсов: повышение частоты повторения импульсов равносильно тому, что радиолокационная станция чаще «облучает» цель и потому чаще принимает импульсы, отраженные от нее. При наличии на станции индикатора кругового обзора увеличение частоты повторения импульсов повысит интенсивность свечения импульсов на экране, потому что электронный луч в этом случае будет падать на одну и ту же точку экрана чаще. Однако, основываясь на этих соображениях, нельзя значительно повышать частоту повторения импульсов, потому что это снизит дальность действия станции. При большой частоте повторения сокращается время между импульсами, т. е. та пауза, во время которой происходит распространение излученного импульса и его возвращение после отражения от объекта. Частота повторения должна быть настолько низка, насколько это необходимо для того, чтобы при данной величине мощности излучения обеспе-

чить максимально возможную мощность отраженного импульса от объекта, находящегося на предельной дальности действия станции, этот импульс был бы виден на экране. Дальность, на которой может быть обнаружен объект, растет в квадрате с увеличением высоты подъема антенны.

Чем больше размеры отражающего объекта, тем больше дальность, на которой он будет обнаружен. Группу самоле-



Фиг. 7. Налево — экран индикатора кругового обзора станции с невысокой разрешающей способностью (с длительным импульсом): объекты, расположенные близко друг от друга, создают на экране слитные отраженные импульсы, не позволяющие видеть изображения их порознь. Направо — экран индикатора кругового обзора станции с высокой разрешающей способностью (с кратковременным импульсом); те же объекты видны на экране по отдельности.

тов радиолокационная станция обнаружит на большем расстоянии, чем одиночный самолет, потому что отражающая поверхность группового объекта больше. Вследствие кривизны земли самолеты, летящие на большой высоте, будут замечены раньше, чем летящие на меньшей высоте.

М и н и м а л ь н а я   д а л ь н о с т ь, на которой радиолокационная станция в состоянии обнаружить объект, зависит прежде всего от длительности импульса, так как импульс большой длительности «закроет» на экране раньше, чем он кончится, все пришедшие раньше отраженные сигналы.

Точность, с которой станция определяет расстояние до объекта, зависит от применяемой схемы измерения дальности, от масштаба шкалы на экране: чем он крупнее, тем

меньше точность. Современные схемы обеспечивают необходимую точность измерения дистанции. Изменения частоты и величины напряжения источника электропитания станции могут внести ошибки в результаты определения.

Разрешающая способность станции по расстоянию, т. е. возможность наблюдать раздельно отражающие объекты, находящиеся на небольшой дальности друг от друга, зависит прежде всего от длительности импульса (фиг. 7). Для обеспечения высокой разрешающей способности необходим короткий импульс, малый масштаб шкалы на экране. Если излученный импульс достиг двух объектов, расположенных друг от друга на таком расстоянии, которое меньше длины импульса в пространстве, то отраженные от этих объектов сигналы сольются в один и на станции удастся измерить расстояние только до ближайшего объекта.

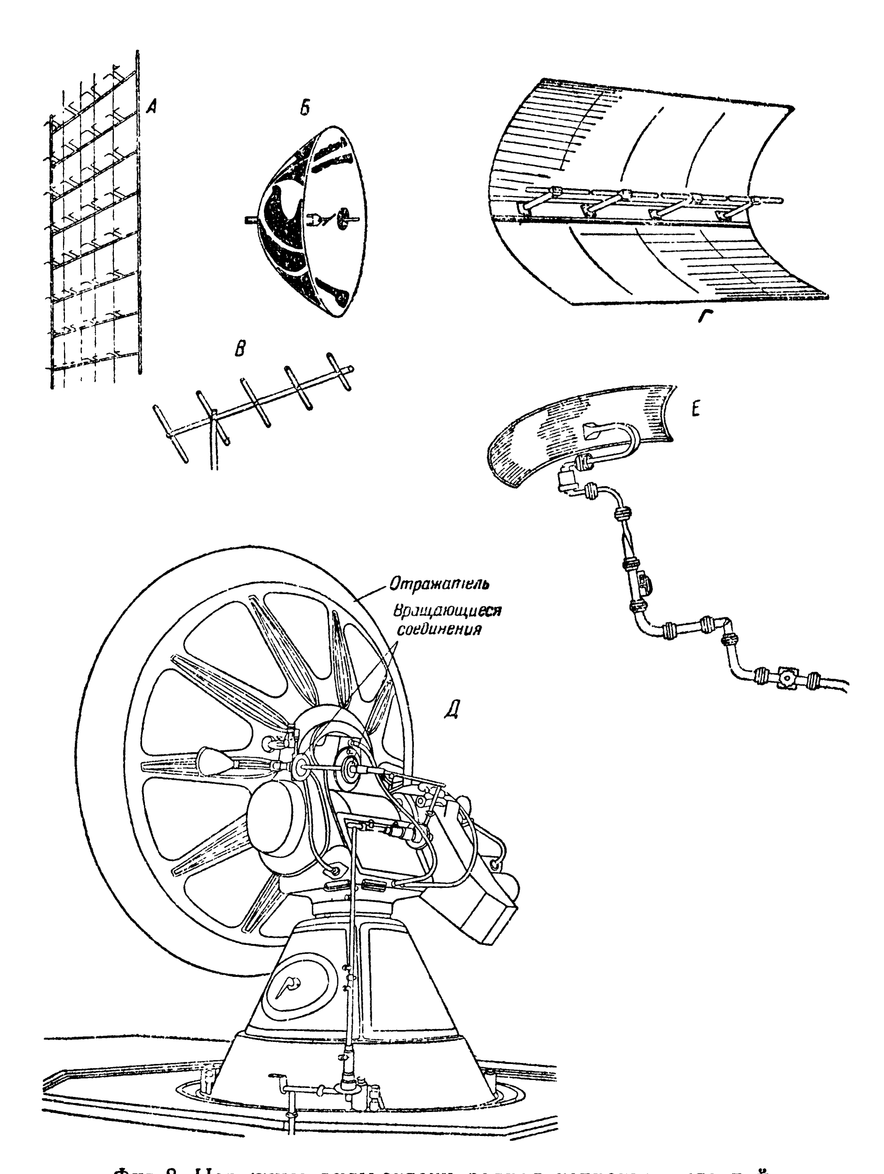
Разрешающая способность по азимуту зависит от ширины диаграммы излучения, типа индикатора, размеров объекта и правильности ориентировки антенны станции по отношению к истинному северу. Если два объекта отстоят по горизонту только на половину ширины диаграммы излучения станции, то оба импульса сольются в один на экране станции.

УЗЛЫ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ

1. Антенны

Ввиду того что в радиолокационной технике применяются как метровые, так и сантиметровые волны, типы антенн весьма разнообразны. Среди них встречаются различные сочетания полуволновых вибраторов, обеспечивающие нужную направленность излучения (и приема) на метровых волнах (фиг. 8 *А*, *В*); полуволновые вибраторы с параболическим зеркалом-отражателем (фиг. 8 *Б, Г, Д),* рупорные антенны, а также и щелевые антенны, теория работы которых была разработана советскими учеными.

Известно, что направленность одного полуволнового вибратора невелика: диаграмма направленности его (в плоскости вибратора) похожа на восьмерку. Поэтому для создания узкого луча радиолокационной станции необходимы антенны, составленные из различного количества полуволновых вибраторов. Напряженность электромагнитного поля в этом случае определяется векторной суммой напряженностей полей от-



Фиг. 8. Наружные виды антенн радиолокационных станций.

А — антенна-решетка; *Б* — вибратор с контррефлектором и параболическим отражателем; *В*—директорная антенна; *Г* — вибраторы с отражателем; *Д* — антенная система типа *Б*—вращающаяся по азимуту и перемещающаяся по высоте; *F*—волновод и рупор, „изливающий“ энергию колебаний высокой частоты в отражатель.

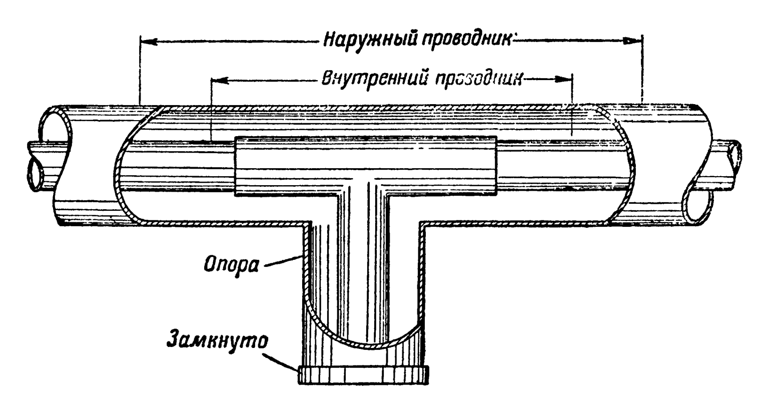
дельных вибраторов. Такие антенны нередко имеют по несколько вибраторов в горизонтальном ряду и составлены из нескольких рядов (этажей) по вертикали (фиг. 8,*А*). Для придания направленности излучения такой антенной системы только в одну сторону за решеткой подобных вибраторов устанавливается вторая, служащая отражателем, предохраняющим от излучения назад.

Более простой по конструкции антенной (фиг. 8,*В*) является устройство, в котором имеется один активный полуволновой вибратор, к которому подводится энергия колебаний высокой частоты от передатчика, а перед таким вибратором расположен ряд других вибраторов, которые питания от передатчика не получают, но за счет подбора расстояний между ними и активным вибратором при соответствующих фазовых соотношениях оказывают направленное действие. Отражатель позади полуволнового вибратора, представляющий собой такой же пассивный вибратор или проволочный экран, называют рефлектором. Он преграждает путь излучению назад. Пассивные вибраторы впереди активного называются директорами; они обычно несколько короче полуволны и увеличивают концентрацию основного излучения в ту сторону, с которой они расположены.

Размеры полуволновых вибраторов радиолокационных станций сантиметрового диапазона значительно меньше, чем на метровых волнах, и поэтому конструкции антенн менее громоздки. Наиболее часто в этом случае применяется антенна в виде полуволнового вибратора с параболическим зеркалом-отражателем (фиг. 8,*Б* и *Д*). Подобно тому, как зеркало прожектора при помещении дуги в фокусе создает пучок параллельных лучей, параболический отражатель, в фокусе которого помещен полуволновой вибратор, создает направленное излучение радиоволн, причем диаграмма излучения тем более узка, чем больше при данной длине волны диаметр параболоида. Волны, созданные полуволновым вибратором, достигают параболоида и отражаются им обратно, но некоторая часть электромагнитной энергии, излучаемая вибратором, на отражатель не попадает и распространяется вперед. Для обеспечения большей направленности антенны поэтому в большинстве случаев перед полуволновым вибратором устанавливают на расстоянии около четверти волны дополнительный рефлектор (контр-рефлектор), направляющий попадающую на него энергию обратно к поверхности параболоида (фиг. 8,*Б*).

Волновод — полая металлическая труба — сам по себе

может служить излучателем электромагнитной энергии. Однако, без дополнительных устройств (отражателей) такие излучатели дают широкую диаграмму направленности, непригодную для радиолокационных станций. Иногда к открытому концу волновода добавляют рупор (фиг. 8,*Е*). Применяются также антенны, у которых в самом волноводе проделывают на заранее точно определенных расстояниях щели, через которые «изливается» электромагнитная энергия. Щелевые антенны этого типа называются также дифракционными, так как в них используется дифракция радиоволн, т. е. свойство последних огибать встречающиеся им на пути препятствия.



Фиг. 9. Устройство коаксиального кабеля.

Передача энергии высокой частоты от передатчика к антенне. Для соединения антенны с передатчиком или приемником требуются специальные линии, называемые часто фидерами. В радиолокационной технике такая линия должна передавать к антенне большую мощность в импульсе при минимальных потерях и обеспечить ничтожную величину потерь при приеме очень малой энергии отраженных импульсов. Для решения этих задач применяются линии различной конструкции и особое внимание уделяется вопросам согласования нагрузок — полных сопротивлений передатчика, линии, антенны.

В радиолокационных станциях метрового диапазона для передачи энергии от передатчика к антенне применяется двухпроводная открытая линия. Недостаток ее заключается в том, что такой линии свойственно некоторое излучение передаваемой по ней энергии. Величина этого излучения растет с уко-

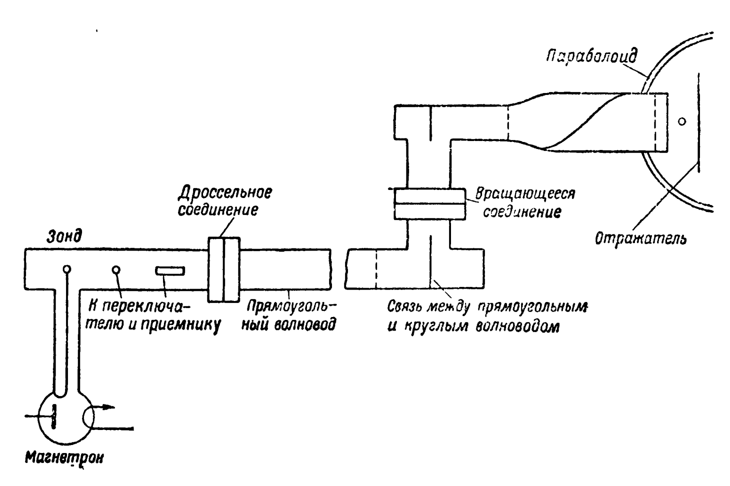
рочением длины рабочей волны, почему для станций с более короткой волной применяют концентрические линии, представляющие собой металлическую трубу, внутри которой протянут провод, располагаемый точно в центре с помощью изоляторов (фиг. 9). Провод является одним проводником, а вторым проводником служит поверхность трубы. Электромагнитная энергия распространяется в этом случае внутри трубы, и потерь на излучение не имеется.

Концентрические линии пригодны для радиолокационных станций дециметрового диапазона волн, но мало пригодны для сантиметровых волн из-за увеличения потерь при дальнейшем укорочении волны. При очень высоких частотах концентрические линии вносят заметные потери и начинают пробиваться при высоких напряжениях. Такие линии заменяют поэтому волноводами.

Волновод — это пустотелая круглая или прямоугольная труба (иногда заполненная диэлектриком или воздухом под давлением), внутри которой распространяется электромагнитная энергия. Возможность передачи электромагнитной энергии по трубам была известна давно, но пользование такими устройствами стало целесообразно только при очень коротких волнах, потому что геометрические размеры волноводов зависят от длины передаваемой ими волны. Так, для волны в 10 *см* волновод должен иметь в ширину более 5 *см*. Для волны в 1 *м* ширина волновода должна превышать 50 *см*, а для волны в 5 *м* — более 2,5 *м*. Рассматривая передачу электромагнитной энергии по волноводу, нельзя пользоваться нашими обычными представлениями о передаче электроэнергии по проводам, связанной с движением электронов внутри проводников, равно как нельзя ими пользоваться и говоря о распространении радиоволн, излученных антенной радиостанции. В этих случаях надо представлять себе, что вследствие изменения электромагнитного поля, которое движется вдоль линии и окружает каждый провод ее, между проводами линии возникает разность потенциалов. Наведенное этим полем напряжение в проводе вызывает в последнем движение электронов, т. е. появление электрического тока. Энергия, передаваемая по волноводу, — это распространяющееся внутри его электромагнитное поле. Поэтому в волноводе имеются электрическое и магнитное поля. В волноводе возможно самое различное распределение поля по его составляющим, иначе говоря, возможны различные типы электромагнитных волн. Существуют, например, волны типа Н—поперечно-электричес-

кие, когда электрическое поле лежит в плоскости, перпендикулярной оси волновода. Силовых линий электрического поля вдоль волновода в этом случае нет. Существуют волны типа Е — поперечно-магнитные. В этом случае вдоль волновода нет магнитных силовых линий.

Примерная антенно-фидерная система высокой частоты с волноводами показана на фиг. 10. Созданные магнетроном колебания сверхвысокой частоты через короткий отрезок концентрической линии поступают в волновод прямоугольного



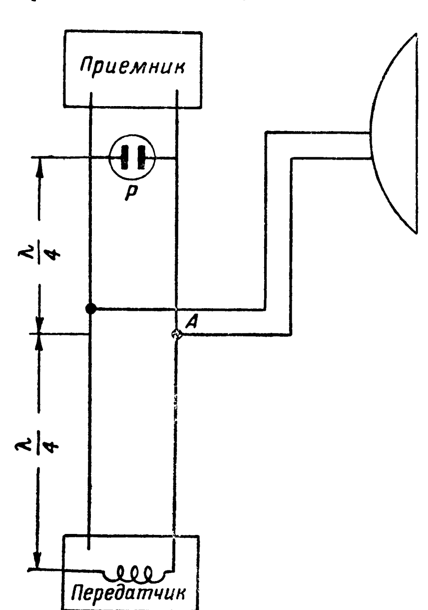
Фиг. 10. Волноводная система для передачи электромагнитной энергии в антенну.

сечения. Отрезок концентрической линии через небольшой зонд «изливает» энергию колебаний сверхвысокой частоты в волновод. Далее она направляется вправо и проходит через переключатель.

Дроссельное соединение в волноводе служит для передачи энергии из одной части волновода в другую без механического соединения между этими частями и в то же время обеспечивает «электрическую непрерывность». Прямоугольный волновод переходит в круглый. Здесь опять встречается дроссельное соединение, служащее для передачи энергии во вращающуюся часть, переход волновода снова в прямоугольный. Волновод заканчивается полуволновым вибратором-излучателем, перед которым расположен второй вибратор, отражаю-

щий электромагнитную энергию к параболическому рефлектору, придающему излучению необходимую направленность. В других конструкциях антенн (фиг. 8,*Е*) полуволнового вибратора нет и из открытого конца волновода электромагнитная энергия изливается в рефлектор. Для того чтобы при этом (вследствие резкого перехода от волновода к открытому пространству) часть энергии не отражалась обратно в волновод, конец его расширяют в рупор.

Для приключения антенны радиолокационной станции попеременно то к передатчику, то к приемнику служат переключатели, иногда называемые газовыми резонансными разрядниками, по существу являющиеся блокирующими устройствами. Принцип действия такого устройства показан на фиг. 11. Контур связи с передатчиком и газовый разрядник *Р* расположены на расстоянии четверти длины волны от двухпроводного фидера *А*, идущего к антенне. Во время приема отраженных импульсов, когда передатчик не работает, газовый разрядник не горит и замкнутая четвертьволновая линия от фидера к передатчику обладает бесконечно большим полным сопротивлением. Импульсы, отраженные от различных объектов, таким образом, беспрепятственно проходят по другой четвертьволновой линии к приемнику. Она разомкнута (разрядник не горит) и ее входное полное сопротивление равно нулю.



Фиг. 11. Схема работы антенного переключателя.

Наоборот. в те моменты, когда происходит излучение мощного импульса, созданного передатчиком радиолокационной станции, энергия высокой частоты поджигает газовый разрядник и последний в этот момент создает путь короткого замыкания для мощных импульсов; четвертьволновая линия, ведущая к приемнику, замыкается на разрядник, обладает бес-

конечно большим полным сопротивлением и поэтому почти вся энергия (за исключением ничтожного количества просачивающейся), созданная передатчиком, направляется по фидеру в антенну, минуя приемник.

2. *Передатчик*

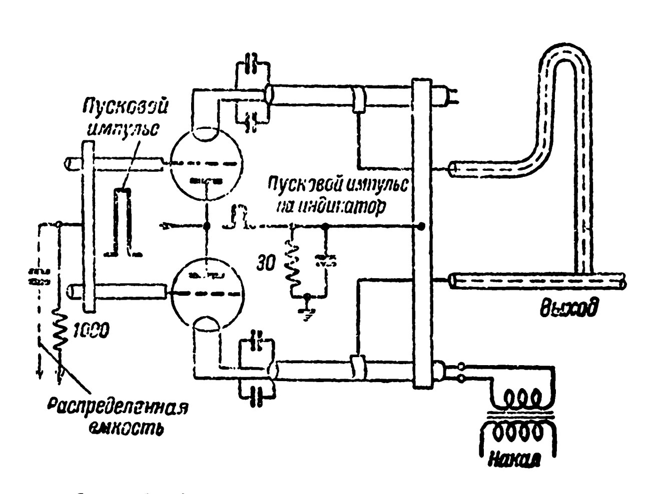
Передатчик радиолокационной станции состоит из генератора колебаний высокой частоты, модулятора, управляющего работой генератора так, чтобы он создавал импульсы, и хронизатора — узла, который, как уже было сказано выше, создает и формирует пусковые импульсы, управляющие работой не только модулятора, но и других узлов радиолокационной станции.

Генератор колебаний высокой частоты, по существу, преобразует некоторую часть электроэнергии, потребляемой от источников питания, в энергию колебаний высокой частоты. Основную роль в таком преобразовании выполняет поток электронов в электронно-вакуумных приборах, которыми являются обычные генераторные лампы, магнетроны, клистроны. В зависимости от типа применяемого электронно-вакуумного прибора управление потоком электронов осуществляется различными методами.

Генераторы на триодах. На фиг. 12 показана принципиальная схема генератора радиолокационной станции, работающей на метровых волнах. Лампы в этом случае должны иметь очень малую индуктивность электродов, минимальные внутриэлектродные емкости. С этой целью вводы электродов внутрь лампы осуществляют самым коротким путем, а сами электроды стремятся уменьшить по размерам и разнести друг от друга. Однако, для того чтобы триод мог отдать значительную мощность, электроды его должны обладать значительными размерами и притом находиться возможно ближе друг к другу, чтобы «пролетное» время (время, в течение которого электроны пролетают от катода к аноду) составляло лишь небольшую часть периода колебаний той частоты, которую должна генерировать электронная лампа. Вследствие этих принципиальных ограничений генераторы на триодах не могут удовлетворительно работать на очень высоких частотах; рабочим пределом большинства таких ламп является диапазон 500—1 000 *мггц*.

Рассматривая схему генератора, нетрудно видеть, что в ней нет обычных емкостей и сосредоточенных индуктивно-

стей. Емкостью схемы служит междуэлектродная и паразитные емкости, а в качестве индуктивности применяются одиночные витки, отрезки концентрических линий длиной в четверть волны. Как уже было отмечено ранее, такая линия обладает очень большим входным полным сопротивлением, малым затуханием и большой добротностью. Приведенная на фиг. 12 схема сравнительно проста: это двухтактный генератор с самовозбуждением; сопротивление в 1 000 *ом* и распределенная емкость цепи сетка — земля создают на сетках ламп генератора напряжение отрицательного смещения. В момент

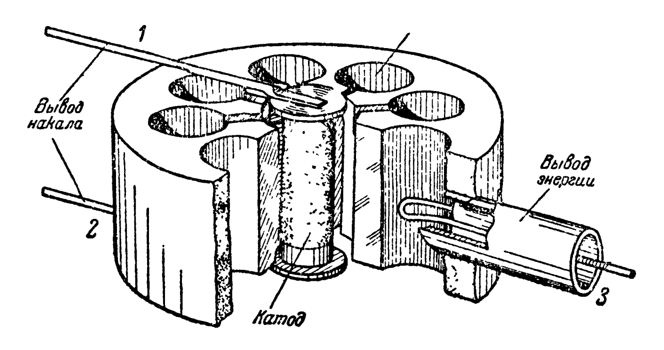


Фиг. 12. Схема генератора станции метрового диапазона.

прихода пускового импульса от модулятора, превышающего величину напряжения смещения, схема начинает генерировать, а с прекращением его действия лампы опять запираются до следующего импульса.

Генераторы на магнетронах. При переходе на более короткие волны радиолокационной технике понадобился электронно-вакуумный прибор, могущий генерировать мощные колебания на волнах длиной в несколько сантиметров. Решение этой задачи заключалось в дальнейшем развитии и совершенствовании конструкции магнетрона, разработанного советскими радиоинженерами Алексеевым и Маляровым в 1936—1937 гг. Магнетрон представляет собой электронно-ва-

куумный прибор, в котором на поток электронов воздействует не только электрическое поле, приложенное к аноду, но и магнитное поле от внешнего источника (магнита). На фиг. 13 дан разрез магнетрона. Емкостью колебательного контура служат отверстия между щелями цилиндрических анодных резонаторов, расположенных по окружности. В центральном отверстии по оси цилиндра расположен цилиндрический подогревный катод магнетрона. К корпусу магнетрона, служащему анодом, прикладывается высокое напряжение, причем электрическое поле анода направлено радиально. В этом направлении и двигались бы электроны от катода, если бы магнитное поле, силовые линии которого параллельны катоду, не изменяло их движения. В результате взаимодействия электрического и магнитного полей траектории электронов завихриваются; электроны подлетают к аноду, но не попадают на него, а движутся мимо щелей плотным потоком и при этом индуктируют заряды на краях щелей, представляющих собой, как было сказано, конденсаторы. Заряд конденсаторов и разряд их на виток связи в одном из отверстий создают колебания в магнетроне. Этот виток связи служит для вывода колебательной энергии из магнетрона наружу.



Фиг. 13. Разрез магнетрона.

1—2 — выводы накала; *3* — петля связи, служащая для отбора энергии.

Возможны два вида движения электронов в магнетроне в зависимости от момента выхода электрона, величины и направления его начальной скорости. Первый вид движения, когда электрон под действием постоянного электрического поля перемещается против переменного электрического поля и при торможении отдает последнему свою энергию. Такие

электроны, называемые «электронами отдачи», находясь в пространстве взаимодействия, преобразуют поглощенную ими энергию постоянного электрического поля в энергию переменного электрического поля высокой частоты, т. е. поддерживают колебательный процесс в магнетроне. Второй вид движения, когда электроны при своем движении ускоряются переменным электрическим полем высокой частоты, поглощают энергию последнего и под действием постоянных электрического и магнитного полей увеличивают крутизну траектории своего полета и попадают на катод. Такие электроны пользы не приносят и называются «электронами потерь». Для работы магнетрона, как генератора колебаний высокой частоты, в нем должны преобладать «электроны отдачи»; время пролета электронов в магнетроне не является ограничивающим фактором (как в генераторных лампах): за полупериод электрон успевает переместиться из положения под одним анодным отверстием к другому. Электроны отдачи почти полностью преобразуют энергию постоянного тока (источника электропитания магнетрона) в энергию колебаний высокой частоты. Коэффициент полезного действия магнетрона на волне около 10 *см* достигает 70%. Отдаваемая мощность — в наиболее мощных магнетронах достигает 1 000 *квт* в импульсе.

В радиолокационных станциях анод магнетрона обычно заземлен и подача пусковых импульсов от модулятора, заставляющих магнетрон генерировать, производится на катод. Такие пусковые импульсы отрицательны по напряжению, имеют большую амплитуду (до 30 *кв*) и длительность — порядка нескольких микросекунд.

3. Модулятор

Подобно передатчикам радиовещательных станций, в которых колебания высокой частоты, создаваемые основным генератором, модулируются звуковой частотой (речи или музыки), генераторы высокой частоты радиолокационных станций для обеспечения импульсного режима работы надо модулировать короткими импульсами постоянного тока, чтобы в эти мгновения генератор создавал мощные импульсные колебания высокой частоты. Модулятор радиолокационной станции, также работающий в импульсном режиме, нуждается сам в управлении им в те мгновения, когда должен наступить момент работы генератора. Это управление осуществляется пу-

тем подачи на модулятор пусковых импульсов от хронизатора.

Модуляторы в различных радиолокационных станциях имеют самое разнообразное устройство и схемы; все они потребляют энергию от источника электропитания станции и преобразуют ее в соответствующие мощные импульсы напряжения, управляющие работой генератора. При всем разнообразии типов и схем радиолокационных модуляторов их можно разделить на два вида: одни из них усиливают поступивший от хронизатора пусковой импульс, которому уже ранее придана правильная форма и длительность, а другие — сами создают нужный пусковой импульс. Нередко оба узла станции—хронизатор и модулятор—объединяются в один. В ряде случаев, как, например, в радиолокационных станциях дальнего обнаружения, работающих на метровых волнах и применяющих поэтому генераторные лампы, модуляторы отсутствуют. Вместо этого применяется режим работы генератора, называемый режимом автомодуляции. В этом случае в цепь сетки генераторных ламп вводится сопротивление и конденсатор (гридлик), величины которых подобраны так, что при генерации возникает сеточный ток, заряжающий конденсатор, отчего возрастает отрицательное смещение на сетке, достигающее к концу генерации импульса такого значения, что лампы запираются и генерация прекращается. После этого проходит некоторое время, в течение которого заряд конденсатора стекает через сопротивление утечки, и напряжение на обкладках конденсатора постепенно падает до такого значения, при котором вновь возникает генерация. Длительность импульса зависит от величины емкости конденсатора и обратно пропорциональна ей, а частота повторения в свою очередь определяется постоянной времени, т. е. величиной емкости конденсатора и сопротивления утечки. Применение схемы с автомодуляцией упрощает конструкцию радиолокационной станции, но обладает тем недостатком, что в этом случае стабильность работы такой станции невелика. Нетрудно видеть, например, что изменение анодного напряжения на лампах генератора или величины связи с антенной может повлиять на частоту повторения импульсов. Поэтому такая схема управления генератором применяется в тех радиолокационных станциях, где стабильность работы не имеет существенного значения.

В тех случаях, когда необходима более высокая степень стабильности работы радиолокационной станции, можно

встретить применение схемы сеточной модуляции. В этом случае лампы генератора колебаний высокой частоты все время заперты большим отрицательным смещением на сетках; в те моменты, когда должен быть подан в антенну импульс, на сетки ламп от модулятора поступает импульс положительного напряжения, значительно превышающий значение отрицательного смещения. Благодаря этому лампы генератора «открываются» и начинают генерировать. Как только прекращается действие такого положительного импульса, вновь сказывается действие запирающего смещения и генерация срывается. В этом случае частота подачи положительных напряжений на сетки ламп генератора колебаний высокой частоты и длительность их определяют частоту повторения и длительность импульсов, излучаемых антенной радиолокационной станции.

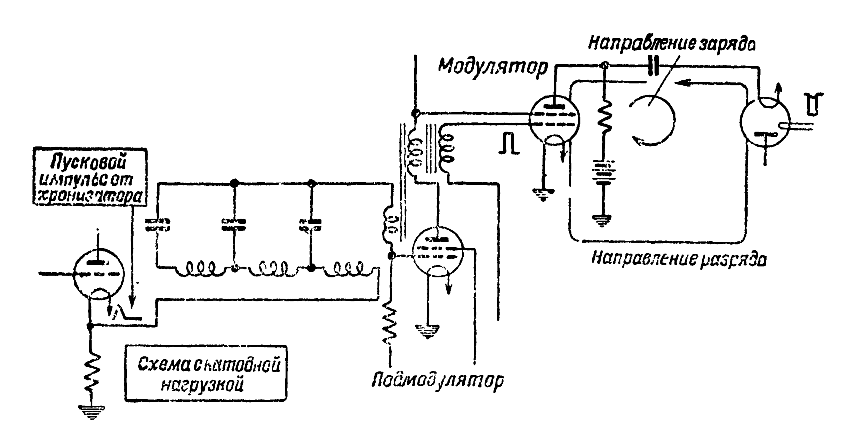
Метод сеточной модуляции имеет то преимущество, что в этом случае модулятор может быть маломощным: для управления генератором достаточно приложить к сетке управляющий импульс в 10 раз слабее, чем мощность, выделяющаяся в анодной цепи генератора. Однако, методу сеточной модуляции свойственны и недостатки: аноды ламп генератора колебаний высокой частоты все время находятся под высоким напряжением; нужен источник постоянного отрицательного смещения на сетки ламп и, наконец, метод непригоден, если в генераторе колебаний высокой частоты работает магнетрон, не имеющий сетки.

Метод анодной манипуляции предпочтительнее. В этом случае высокое напряжение на аноды поступает в виде импульсов лишь в те моменты, когда должен работать генератор. Модулятор представляет собой как бы мощное электронное реле, включающее и выключающее высокое анодное напряжение на генератор.

На фиг. 14 показана сложная схема лампового модулятора. От последнего каскада схемы хронизатора (схема с катодной нагрузкой) пусковой импульс поступает в искусственную линию, служащую для создания необходимой формы и длительности импульса и включенную в цепь сетки лампы подмодулятора (тетрод). Лампа подмодулятора постоянно заперта большим отрицательным напряжением на сетку и срабатывает только в те моменты, когда приходит пусковой импульс положительного напряжения, переводящий лампу в рабочий режим. От подмодулятора пусковой импульс поступает на лампу модулятора через трансформатор, повышающий импульсное напряжение. Лампа модулятора тоже постоянно за-

перта отрицательным смещением на сетку. В те моменты, когда модулятор проводит под действием пускового импульса, лампа модулятора представляет собой мощный электронный включатель, открывающий путь разряду конденсатора на нить накала магнетрона. В остальное время конденсатор заряжается от источника напряжения через сопротивление.

Рассмотренные выше ламповые модуляторы отнюдь не занимают монопольного положения в радиолокационной технике. Имеется много других технических методов модуляции

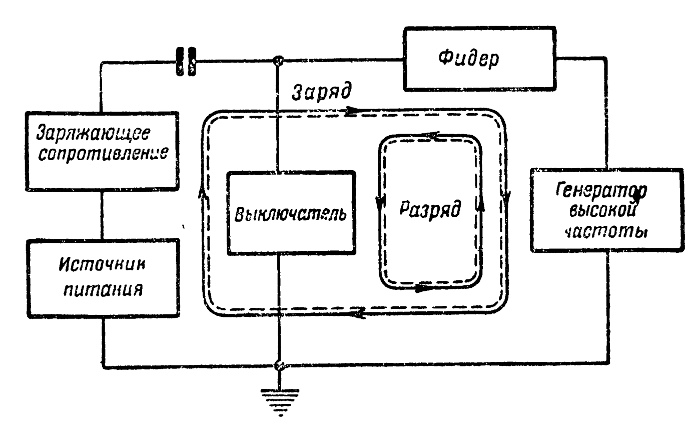


Фиг. 14. Схема подмодулятора и модулятора.

генераторов радиолокационных станций, не требующих применения электронных ламп. Мощный разряд, требующийся от модулятора, можно создать и без помощи электронных ламп, использовав, например, для этого конденсатор постоянной емкости, искусственную длинную линию, состоящую из индуктивностей и емкостей, а в качестве включателя применить искровой промежуток, встречавшийся на заре радиотехники в искровых радиостанциях и впоследствии — в некоторых схемах заземления радиолюбительских приемных антенн.

Если в качестве накопителя электроэнергии применяется, например, конденсатор, заряжаемый в промежутках между импульсами через сопротивление, то заряд и разряд его происходят по экспоненциальному закону (логарифмическому). Величину емкости такого конденсатора подбирают так, чтобы количество запасаемой в нем энергии значительно превосходило количество энергии, расходуемой при импульсном раз-

ряде. При этом условии напряжение на конденсаторе и величина разрядного тока за время импульса заметно не меняются и импульс разряда имеет приблизительно прямоугольную форму. Скелетная схема безлампового модулятора с конденсатором показана на фиг. 15. Когда выключатель разомкнут, конденсатор заряжается через сопротивление от источника питания. При замкнутом выключателе конденсатор разряжается на генератор колебаний высокой частоты.

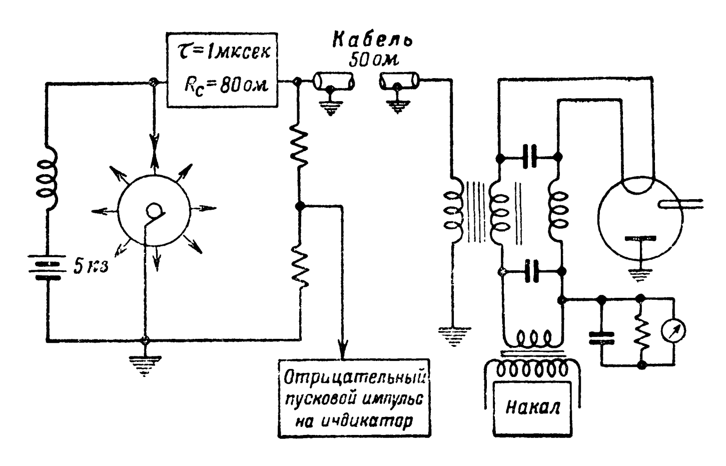


Фиг. 15. Скелетная схема модулятора.

Накопителем энергии может быть и искусственная линия— сочетание индуктивностей и емкостей. При заряде энергия в линии накапливается в катушках и конденсаторах, а при разряде получается прямоугольный импульс, потому что ток через индуктивность не может мгновенно изменить свою величину, а изменяется тем медленнее, чем больше величина индуктивности. Мгновенно разрядится первая емкость, ближайшая к выключателю, но вторая емкость станет разряжаться позднее, третья еще позже. При этом электрическая энергия, накопленная в конденсаторах, будет при разряде еще трансформироваться в энергию магнитного поля в катушках индуктивности. Этими причинами и объясняется прямоугольная форма разряда, вполне пригодная для запуска генератора высокой частоты. Схема искусственной линии видна на фиг. 14.

Выключателями в схемах безламповых модуляторов работают, как уже было сказано, искровые разрядники, чаще—вращающиеся и реже—неподвижные. Модулятор с вращающимся

разрядником схематически изображен на фиг. 16. Работу его понять нетрудно. Энергия от источника напряжения в 5 *кв* накапливается в индуктивности. При вращении металлического диска с остроконечными электродами они поочередно приближаются к неподвижному электроду и в момент сближения происходит разряд высокого напряжения, поступающий по кабелю через импульсный трансформатор на магнетрон. Скорость вращения такого разрядника и количество подвижных



Фиг. 16. Схема модулятора с искровым промежутком.

электродов на диске определяют частоту повторения импульсов. Показанный на схеме фиг. 16 модулятор обладает некоторыми особенностями: во-первых, этот блок станции можно отнести на некоторое расстояние от генератора колебаний высокой частоты и соединить их между собой кабелем. Делается это для того, чтобы разместить модулятор в непосредственной близости от источника питания; во-вторых, импульсный трансформатор, служащий для повышения напряжения импульса, подаваемого на катод магнетрона, составлен из двух половин, чтобы осуществлять, таким образом, и подачу напряжения накала на катод магнетрона и подачу пускового модулирующего импульса; в-третьих, с делителя напряжения, составленного из двух сопротивлений, снимается пониженное напряжение пускового импульса, поступающее затем на индикаторы радиолокационной станции и, таким образом, синхронизирующее их

работу с моментом работы генератора колебаний высокой частоты.

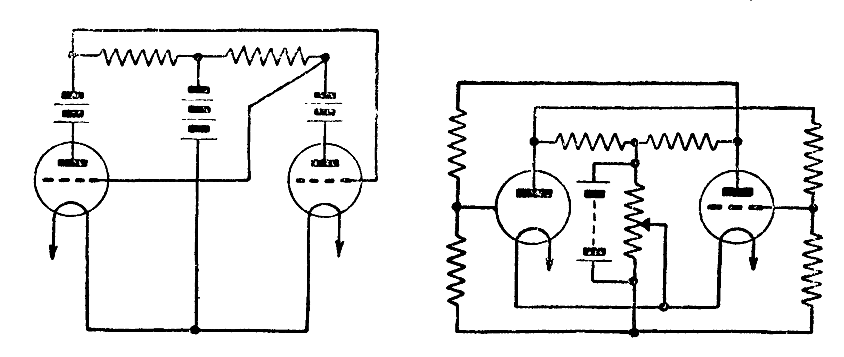
Неподвижный разрядник обычно состоит из двух электродов, причем один из них ионизируется для облегчения пробоя, или же имеет несколько воздушных промежутков (два-три). Начальный импульс пробивает первый промежуток, а возросшее при этом напряжение облегчает пробой следующих промежутков.

4. Хронизатор

Схемы, из которых составлен хронизатор, в общем случае можно назвать пусковыми схемами. Они создают те импульсы, которые управляют работой различных узлов станции в определенной последовательности и с заданной длительностью, т. е. посылают пусковые импульсы к модуляторам, к тем узлам станции, которые должны в этот момент начать свою работу, например, запускают развертку электронно-лучевых трубок индикаторов одновременно с излучаемым импульсом. Хронизаторы подают импульсы подсветки, необходимые для того, чтобы световая линия развертки на экране трубки светилась только во время так называемого «прямого» хода и затемнялась на те мгновения, когда световой луч возвращается от правого края экрана к левому (в развертке типа А); хронизаторы посылают отпирающие импульсы на те узлы станции, которые должны работать только в течение определенной части периода времени между излучаемыми импульсами. Так, например, после излучения импульса надо регулировать чувствительность приемника, потому что от близко расположенного объекта может вернуться настолько мощный отраженный сигнал, что он может повредить вход приемника. Следовательно, необходим такой импульс, чтобы он вначале полностью блокировал приемник, а по мере распространения радиоволны от станции повышал чувствительность приемника.

В схемах хронизаторов многие электронные лампы работают при таких величинах сигнала на входе и при таком отрицательном смещении на сетке, что в течение одной части периода анодный ток в лампе отсутствует, а в течение другой части появляется сеточный ток. Про лампы в таком режиме говорят, что они перегружены; рабочая точка на их характеристике во время работы переходит из области, лежащей далеко за пределами запирания лампы, к области появления сеточных токов.

Первым каскадом схемы хронизатора является генератор первичных импульсов, задача которого — создать лишь импульсы нужной периодичности. Форма и длительность этих импульсов затем преобразуются в так называемых схемах формирования. Генераторы первичных импульсов представляют собой схемы с электронными лампами, в которых параметры контуров и напряжения на электродах подобраны так, что возможны два условия равновесия. Изменения напряжений и токов в этих схемах могут мгновенно перевести схему из одного состояния равновесия (устойчивости) в другое. По истечении некоторого определенного промежутка времени



Фиг. 17. Схемы генераторов пусковых импульсов.

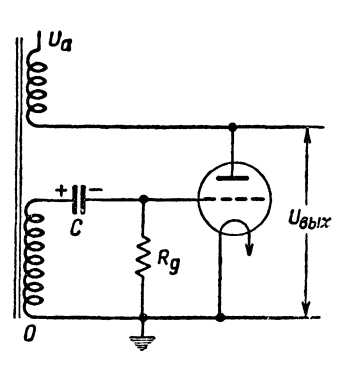
режим работы ламп или параметры контуров вновь меняются и схема возвращается в положение первого равновесия. На выходе таких схем можно получить напряжения самой различной формы, которые затем проходят дальнейшее формирование.

Одна из простых схем генератора пусковых импульсов показана на фиг. 17,*а*. Лампы в ней работают поочередно: только одна из них в данный момент проводит ток. Пусть в схеме осуществилось такое равновесие, что обе лампы проводят равный ток. Тогда возрастание тока через одну из ламп вызовет соответствующее падение напряжения на сопротивлении в анодной цепи, отчего возрастет отрицательное напряжение смещения на сетке другой лампы. С ростом величины этого смещения анодный ток второй лампы станет уменьшаться. Такое уменьшение анодного тока вызовет возрастание напряжения на сопротивлении в анодной цепи лампы, что в свою очередь уменьшит напряжение смещения на сетке первой лампы. Описанное явление будет происходить лавинообразно, и в

результате одна из ламп схемы совсем перестанет проводить, тогда как вторая будет проводить нормальный анодный ток.

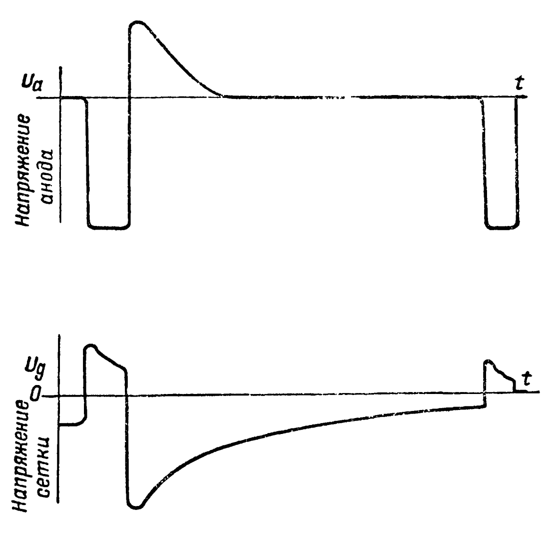
Схема на фиг. 17,*б* отличается от предыдущей тем, что в ней нет трех анодных батарей, показанных нами для упрощения анализа работы, а применяется лишь одна. Сопротивления подобраны так, чтобы они поддерживали нужные напряжения на сетках. Импульс, поданный к этой схеме извне или возникший в ней вследствие изменения параметров, приведет к тому, что схема перейдет из одного состояния равновесия в другое.

Генераторы свободных (релаксационных) колебаний. Релаксационными колебаниями называют периодическую смену двух процессов, которые длятся обычно неравное время: вначале происходит, например, медленный разряд конденсатора через большое сопротивление, а затем быстрый разряд конденсатора через сопротивление меньшей величины. К таким генераторам относится, например, блокинг-генератор (фиг. 18). По схеме — это одноламповый генератор с сильной обратной связью, в цепи сетки которого — конденсатор и сопротивление. Работа схемы зависит от величины *C* и R_g и степени обратной связи. Она может создавать непрерывные колебания более или менее синусоидальной формы, а частота колебаний будет определяться параметрами *C* и *R*; она же может создавать и колебания импульсного характера через регуляторные промежутки времени, причем частота повторения этих импульсов определяется постоянной времени *CR*. Схема блокинг-генератора отличается от упомянутой нами ранее схемы генератора с автомодуляцией тем, что в блокинг-генераторе генерация импульса длится в течение небольшой части периода, после чего лампа запирается, а в схеме с автомодуляцией колебания длятся несколько периодов, после чего генерация автоматически срывается. Время, в течение которого блокинг-генератор проводит, очень невелико и лежит в пределах от нескольких десятых долей до примерно 25 *мксек*, тогда как время между импульсами равняется 500 *мксек* и более.



Фиг. 18. Схема блокинг-генератора.

Блокинг-генератор работает следующим образом: схема начинает генерировать с частотой, определяемой параметрами сеточного контура и величиной обратной связи. Амплитуда колебаний быстро возрастает и достигает такого значения, что появляется сеточный ток из-за детектирующего действия гридлика. Вследствие этого напряжение на сетке становится отрицательным и лампа запирается. После этого заряд конденсатора стекает через R_g и затем вновь возникают колебания. Каждый период работы блокинг-генератора, таким образом, состоит из серии колебаний, в течение которых сетка быстро становится отрицательной, и затем следует сравнительно длительный период бездействия, в течение которого стекает заряд конденсатора. Примерные формы напряжения на сетке и аноде лампы блокинг-генератора показаны на фиг. 19.

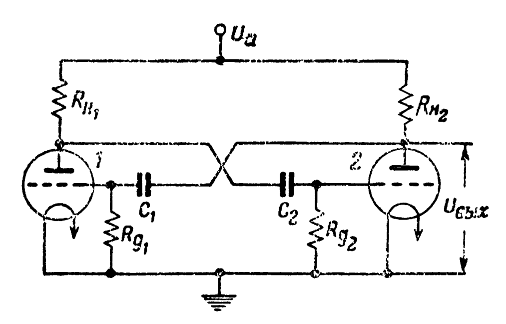


Фиг. 19. Формы напряжений, создаваемых блокинг-генератором.

Другой схемой генератора импульсов может быть мультивибратор. Он применяется в тех случаях, когда требуются прямоугольные импульсы различной длительности, необходимые в качестве пусковых.

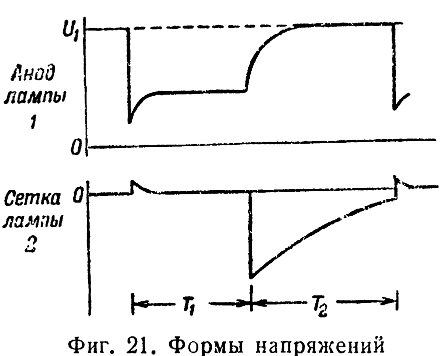
Схема мультивибратора показана на фиг. 20. Нетрудно видеть, что она представляет собой двухламповый усилитель на

сопротивлениях, причем выходная цепь каждой из двух ламп схемы связана с входной цепью другой лампы. Схема генерирует, так как каждая лампа создает сдвиг фаз в 180° и, таким образом, входные цепи обеих ламп имеют необходимую полярность, чтобы поддерживать колебания.



Фиг. 20. Схема мультивибратора.

Рассмотрим работу схемы, считая, что на сетке лампы *1* имеется отрицательное смещение (она не проводит), а лампа *2* — проводит. Заряд конденсатора C_1 постепенно стекает со скоростью, определяемой значениями C_1 и R_{g1}, и наступает момент, когда лампа *1* начинает слегка проводить. При этом происходит падение напряжения на R_{g1}, так как через лампу *1* течет ток, и отрицательное падение напряжения таким образом возникает на аноде и прикладывается через C_2 к сетке лампы *2*. Вследствие этого лампа *2* запирается, анодный ток ее падает, а все возрастающее напряжение появляется на $R_{н2}$. Возрастающее положительное напряжение попадает на сетку лампы *1* через C_1, что увеличивает анодный ток лампы. Это действие происходит очень быстро, и в итоге начинает работать лампа *1*, а не лампа *2*. Величина напряжения, попадающего на анод лампы *1*, приблизительно равна напряжению источника анодного питания, если сопротивление $R_{н1}$ в анодной цепи велико по сравнению с внутренним сопротивлением лампы *1* в то время, когда она проводит. Это напряжение достигает величины, например, 300 *в*, и когда оно в виде отрицательного смещения поступает на сетку лампы *2*, эта



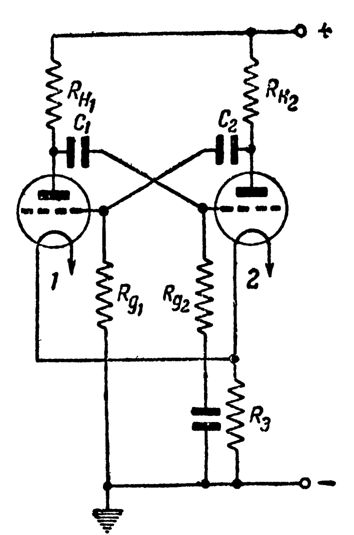
Фиг. 21. Формы напряжений от мультивибратора.

лампа оказывается под напряжением, примерно на 270 *в* превышающим обычную величину отрицательного смещения. Лампа поэтому остается запертой, пока заряд конденсатора C_2 не стечет через R_{g2} настолько, чтобы лампа могла начать проводить, после чего цикл начинается сначала. Примерные формы напряжений на различных электродах лампы за весь цикл работы мультивибратора приведены на фиг. 21. Плечи мультивибратора для данного случая считаются симметричными, т. е. $R_{g1}=R_{g2}$; $C_1=C_2$ и $R_{н1}=R_{н2}$. Формы напряжений тоже симметричны. Период одной половины цикла зависит от постоянной времени $C_2(R_{g1}+R_{н1})$, а период второй половины — от постоянной времени $C_1(R_{g2}+R_{н2})$. Если одна постоянная времени взята меньшей, чем другая, то один полупериод работы схемы будет соответственно короче другого. Таким подбором величин сопротивлений и емкостей можно получать в анодной цепи той или другой лампы прямоугольные импульсы различной длительности.

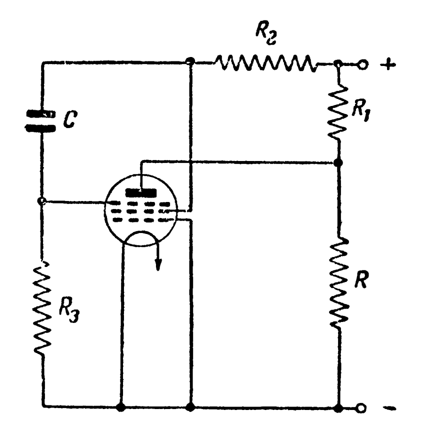
Видоизменение схемы мультивибратора, называемое «опрокидывающейся» схемой, иногда применяется для образования хронизирующих импульсов управляемой длительности из серии коротких неустойчивых импульсов. Такая схема (фиг. 22) по сравнению с показанной на фиг. 20 имеет следующие отличия. Во-первых, лампа *1* находится под отрицательным смещением и ток лампы *2* течет через R_3. В стабильном положении ток, текущий через лампу *2*, не воздействует на лампу *1*; сетка лампы *2* через R_{g2} связана с цепью катода и на лампе *2* нет смещения, тогда как сетка лампы *1* через R_{g1} связана с минусом источника анодного питания или землей и, следовательно, между катодами обеих ламп имеется прямая связь. Поэтому анодный ток лампы *2* и общее сопротивление в катодной цепи создают напряжение смещения на сетку лампы *1*. Предположим теперь, что короткий отрицательный импульс приложен к сетке лампы *2*. Она запирается, анодное напряжение на ней возрастает и уменьшает напряжение смещения на лампе *1*. Последняя начинает поэтому проводить и на $R_{н1}$ появляется падение напряжения, увеличивающее падение напряжения и на сетке лампы *2*. Это действие столь же быстро и лавинообразно и, как в случае мультивибратора, оно приводит к тому, что внезапно начинает проводить лампа *1*, а не лампа *2*. Эти условия сохраняются до той поры, пока отрицательный заряд на сетке лампы *2* не уменьшится при стекании заряда настолько, что она начнет проводить. Как только это произойдет, сетка лампы *1* запи-

рается отрицательным смещением и схема возвращается к ее исходному состоянию в ожидании следующего пускового импульса. Особенностью описанной схемы является то, что переключение ее («опрокидывание») не зависит ни от амплитуды, ни от длительности пускового импульса. Амплитуда импульса на выходе схемы зависит только от постоянной времени C_1R_{g1} и величины напряжения источника анодного питания.

Третьей применяемой схемой генератора импульсов является схема, создающая импульсы напряжения с уплощенной верхушкой, показана на фиг. 23. Особенность схемы заключается в том, что управляющая сетка пентода находится под



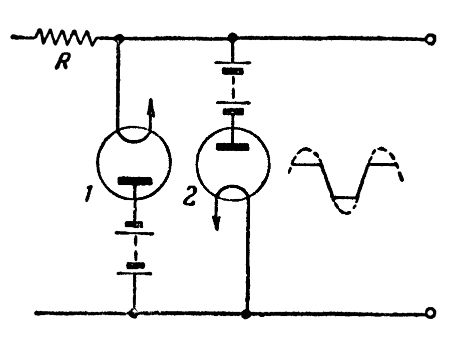
Фиг. 22. „Опрокидывающаяся" схема.



Фиг. 23. Одноламповая „опрокидывающаяся" схема.

фиксированным напряжением, и защитная сетка не дает этому напряжению стать более положительным. Суммарный ток анода и сетки должен быть неизменяющимся. Для ознакомления с работой схемы предположим, что напряжение на защитной сетке стало несколько отрицательным. Тогда уменьшится анодный ток, а возрастет ток экранирующей сетки. Увеличение тока экранирующей сетки вызовет падение напряжения на R_2, которое приложится как отрицательный импульс к защитной сетке через конденсатор C. Это вновь приведет к тому, что напряжение на защитной сетке станет еще более отрицательным, и т. д. Схема будет вести себя как «однолам-

повая опрокидывающаяся». Падение напряжения на экранирующей сетке будет продолжаться до тех пор, пока не прекратится анодный ток и напряжение на защитной сетке не станет таким, при котором оно запирает лампу. В этих условиях максимальный ток, ограничиваемый только величиной R_2, потечет к экранирующей сетке. Теперь C начнет разряжаться через R_3. После промежутка времени, определяемого значениями C и R_3, защитная сетка окажется под напряжением, при котором вновь появится анодный ток и опять возникнет соответствующее падение напряжения на экранирующей сетке.

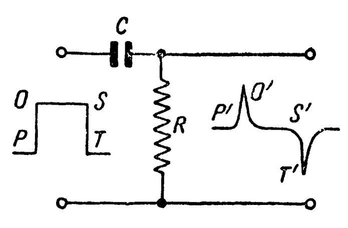


Фиг. 24. Схема ограничения колебаний.

В качестве источника первичных импульсов не обязательно применять схемы генераторов, описанных выше. Для этого можно применить и генератор непрерывных синусоидальных колебаний, например, задающий генератор с кварцем, а в последующих каскадах хронизатора провести преобразование напряжений синусоидальной формы в импульсы требуемой длительности и формы. Начальным этапом такого преобразования (формирования) является превращение колебаний в импульсы, имеющие приблизительно прямоугольную форму. Это осуществляется с помощью срезания верхушек положительной и отрицательной полуволн, или, как принято говорить, «ограничением» колебаний. Такая схема показана на фиг. 24. К анодам диодов *1* и *2* приложено отрицательное напряжение, и, следовательно, оба они не проводят. Однако, если к входным зажимам схемы подать переменное напряжение от постороннего источника, по величине примерно равное запирающему, а по знаку противоположное (в момент начала рассмотрения работы схемы), то тогда в течение первого полупериода напряжение на выходе схемы станет возрастать вместе с ростом приложенного переменного напряжения, пока величина этого переменного напряжения не превысит значения отрицательного напряжения на аноде одного диода. Диод станет проводить ток, что устранит дальнейший рост напряже-

ния на выходе (из-за падения напряжения на сопротивлении R). Во второй полупериод приложенное переменное напряжение создает тот же результат, заставляя работать второй диод, и в итоге напряжение на выходе снова не превысит некоторого определенного значения. Таким образом диоды ограничивают верхушки синусоиды, т. е. превращают переменное напряжение в импульсное. Недостаток таких схем заключается в том, что они не усиливают формируемые импульсы.

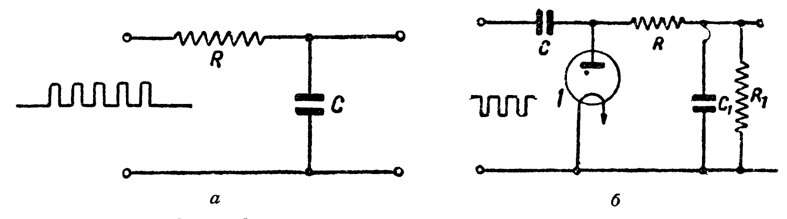
Дифференцирование импульсов. Формирование импульсов очень малой длительности из сравнительно длительных прямоугольных импульсов (получение которых описано в предыдущем разделе) можно осуществить с помощью простой схемы, показанной на фиг. 25. Значения R и C очень малы. Если напряжение постоянного тока, приложенное к входным зажимам схемы, мгновенно меняется, то конденсатор заряжается (или разряжается) экспоненциально, пока его напряжение не сравняется с новым значением входного напряжения. Пусть на вход схемы подано напряжение прямоугольной формы. Тогда выходное напряжение, развивающееся на сопротивлении R, должно было бы повторить форму входного, однако благодаря малым значениям C и R постоянная времени будет малой и это исказит форму импульса. Резкое возрастание напряжения (часть PO на фиг. 25) вызовет и большой начальный зарядный ток через сопротивление R. Напряжение, развивающееся на R, будет в этом случае представлять собой перпендикулярную линию $P'O'$ на выходе. Конденсатор из-за малой емкости зарядится очень быстро и зарядный ток соответственно упадет до нуля, оставаясь на этом уровне в течение оставшейся части периода OS. Напряжение на конденсаторе будет теперь равно напряжению приложенного прямоугольного импульса, а на сопротивлении R напряжения не будет. Когда к схеме будет приложен задний фронт прямоугольного напряжения (ST), конденсатор мгновенно разрядится и напряжение на R повысится мгновенно до максимума разряда $S'T'$, имеющего противоположное направление. Затем ток опять упадет до нуля и схема будет бездействовать, пока вновь не поступит на вход ее импульс прямоугольной формы.



Фиг. 25. Дифференцирующая схема.

Описанный выше метод может быть применен и для преобразования импульса прямоугольного напряжения значительной длительности в серию положительных или отрицательных импульсов более короткой длительности. Любое прикладываемое ко входу подобной схемы напряжение, периодически изменяющееся, преобразуется в короткие импульсы на выходе. Такое преобразование импульсов называют в радиолокационной и телевизионной технике дифференцированием, а схему фиг. 25 — дифференцирующей[1]. Цепь таких острых импульсов может быть преобразована в импульсы с еще меньшей длительностью. Для этого такие импульсы надо подать на сетку лампы, работающей в таком режиме, что нормально она заперта отрицательным смещением, действие которого прекращается (и лампа проводит) только тогда, когда на схему ее поступают очень острые положительные импульсы. В анодной цепи такой лампы возникает серия очень коротких отрицательных импульсов, потому что, как известно, напряжение на выходе ламповой схемы отличается по фазе на 180° от входного. Понятно, что при наличии большого смещения входные импульсы отрицательной полярности не будут проходить через лампу.

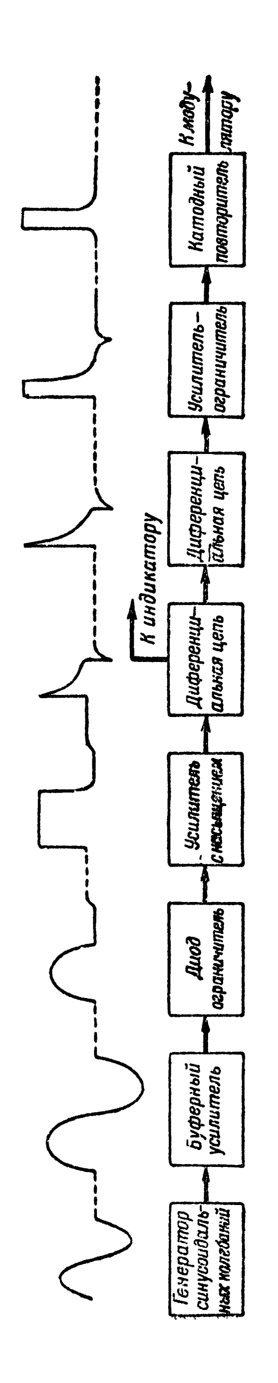
Интегрирование импульсов. Дифференцирующая схема, как мы видели, может создать серию коротких острых импульсов из более широких импульсов прямоугольной формы. Интегрирующая схема (фиг. 26,*а*) выполняет обратную задачу, т. е. создает стабильное напряжение некоторой заранее определенной величины из серии коротких импульсов.



Фиг. 26. Интегрирующая схема и ее работа.

На фиг. 26,*б* показана схема, в которой происходит интегрирование. На вход подается серия коротких отрицательных импульсов. В начальное мгновение импульсное напряжение

[1] Такое название объясняется тем, что выходное напряжение такой схемы приблизительно пропорционально производной входного напряжения.



Фиг. 27. Скелетная схема формирования и преобразования импульсов.

вызывает ток, текущий через R и заряжающий отрицательно конденсатор C_1. В конце импульса как раз перед положительным возрастанием суммарное напряжение делится между R и C_1. В момент возрастания импульса напряжение на аноде диода 1 возрастает (или стремится возрасти) до полного значения импульсного напряжения, но не отличается значительно от потенциала земли, потому что в это время лампа проводит. Когда анод диода находится приблизительно под потенциалом земли, конденсатор C начинает заряжаться и на его зажимах развивается напряжение. В это мгновение анод диода — под потенциалом земли и конденсатор C_1 обладают зарядом отрицательного остаточного напряжения. Остаточный заряд на C уравновешивает заряд на C_1, хотя равные напряжения не обязательно развиваются на обкладках этих конденсаторов.

Когда поступает следующий импульс, анод диода вновь оказывается под тем же уровнем отрицательного напряжения, как и при предыдущем импульсе, и вследствие разницы напряжений между анодом и верхней обкладкой C_1 следующий импульс поступает на C_1 через R. Этот ток заряжает C_1 до более высокого (отрицательного) уровня, чем раньше. Такой процесс повторяется, пока на вход схемы поступает цепь импульсов и C_1 заряжается все выше и выше, а разностное напряжение вследствие тока, текущего через R при каждом импульсе, становится все меньше и меньше. Равным образом достигается такое состоя-

ние, при котором заряд C_1 стекает через сопротивление R_1 с той же скоростью, с которой происходит заряд, чем осуществляется равновесие на выходе схемы. Напряжение на выходе схемы правильным выбором постоянной времени C_1R_1 можно подобрать пропорциональным частоте цепочки импульсов постоянной амплитуды или амплитуде цепи импульсов точно установленной частоты.

Ознакомившись с работой отдельных каскадов, входящих в схему хронизатора, посмотрим, как происходит преобразование и формирование импульса в хронизаторе. Из скелетной схемы фиг. 27 видно, что начальным каскадом является задающий генератор синусоидальных колебаний. Для того чтобы на его работу не воздействовали последующие каскады, в схеме имеется буферный усилитель. После усиления отрицательная полуволна синусоидального напряжения срезается диодным ограничителем и в следующем каскаде преобразуется в широкий импульс с плоской верхушкой. Этот импульс далее проходит через дифференцирующие цепи и затем поступает вновь в ограничитель, где получает заданную длительность и усиливается. После этого, пройдя схему катодного повторителя, импульс, приобревший необходимую форму, поступает к модулятору, который под действием импульса хронизатора приводит в действие генератор колебаний высокой частоты радиолокационной станции.

5. Приемники

Назначение радиолокационного приемного устройства — прием, усиление, детектирование отраженных импульсов, усиление видеочастоты и подача выходного напряжения на индикаторы радиолокационных станций. В зависимости от рабочей волны станции и ее тактического назначения в значительной мере изменяются параметры, схема и конструкция приемников.

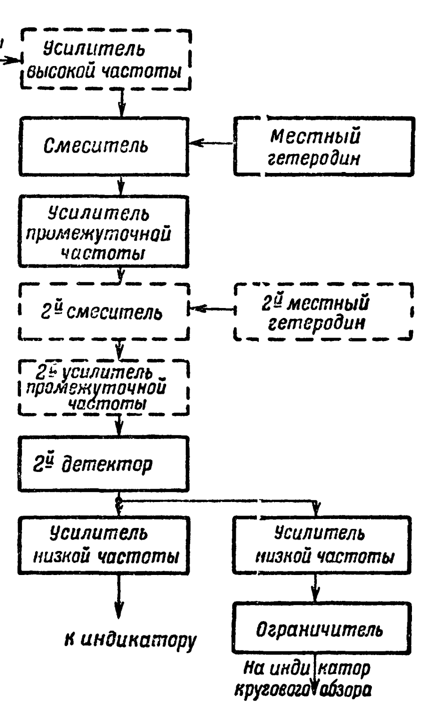
Самым основным требованием к приемникам радиолокационных станций является высокая чувствительность. Если при излучении импульсов напряжение в антенне радиолокационной станции достигает нескольких киловольт, то при приеме импульсов, отраженных от цели, особенно на большом расстоянии от радиолокационной станции, напряжение, наведенное в антенне, в лучшем случае измеряется всего лишь несколькими микровольтами.

Скелетная схема. В подавляющем большинстве приемники

радиолокационных станций имеют супергетеродинную схему, знакомую радиолюбителю, но отличающуюся от схем радиовещательных приемников рядом специфических особенностей. Скелетная схема приемника радиолокационной станции показана на фиг. 28. Узлы, обведенные пунктиром, встречаются не во всех типах станций. Если станция работает в метровом диапазоне волн, то первыми каскадами приемника являются каскады усиления высокой частоты. Применить в данном случае схему супергетеродина второго класса, т. е. сделать первым каскадом приемника смеситель, нельзя. Дело в том, что при очень малых напряжениях на входе приемника радиолокационной станции весьма опасны неизбежные шумы, развивающиеся в самом приемнике. Если полезный сигнал на входе приемника равен примерно 1 *в* (как при приеме мощной местной радиовещательной станции), то величина неизбежных собственных шумов приемника в несколько микровольт не может иметь значения. Когда же сигнал, поступающий из антенны, не превышает нескольких микровольт (обычное явление при приеме радиолокационных сигналов), то шумы приемника становятся очень опасны: наличие их может привести к тому, что слабый отраженный импульс будет ими забит. По этой причине и нельзя воспользоваться схемой супергетеродина второго класса, т. е. подвести принимаемый сигнал прямо к смесительной лампе. Такой способ не только снижает чувствительность приемника вообще, но и приводит к низкому соотношению между полезным сигналом и шумами, так как смесительная лампа супергетеродина сама сильно шумит и не усиливает поступившего напряжения. Предварительное усиление принятого сигнала в каскадах высокой частоты, несмотря на очень небольшую величину усиления при столь высоких частотах, все же позволяет улучшить отношение сигнал/шум. Обычно в супергетеродинах радиолокационных станций метрового диапазона применяют по меньшей мере два каскада усиления высокой частоты.

Другим отличием приемника импульсных сигналов от радиовещательного является то, что радиолокационный приемник не должен иметь переменной настройки по диапазону и высокой избирательности. Он строится в расчете на прием сигналов на той же волне, на какой работает передатчик радиолокационной станции, и поэтому должен иметь лишь небольшую подстройку на случай некоторой нестабильности работы передатчика. Отсутствие высокой избирательности в радиолокационном приемнике связано с особенностями приема им-

пульсных сигналов. Известно, что в состав модулированного колебания высокой частоты кроме несущей частоты входят так называемые боковые полосы, располагающиеся по обе стороны от несущей. Ширина всего спектра частот определяется максимальной частотой модуляции. Для неискаженного воспроизведения сигнала приемник должен обладать такой полосой пропускания, при которой свободно проходят все частоты спектра принимаемого сигнала. Известно также, что при радиовещательной передаче эта ширина полосы не превышает 9 *кгц*. Работу передатчика радиолокационной станции в импульсном режиме можно рассматривать как своеобразную амплитудную модуляцию с коэффициентом модуляции, равным 100%. Модулированный сигнал — импульс, имеющий прямоугольную форму, обладает спектром, состоящим из очень большого числа гармоник, расположенных справа и слева от несущей частоты, на которой работает передатчик радиолокационной станции. Прямоугольный импульс нужно представлять себе как сумму бесконечного количества синусоидальных напряжений все более и более высокой частоты. Для того чтобы воспроизвести без искажений такой сигнал, входные контуры приемника и его последующие каскады надо рассчитывать на пропускание бесконечно широкой полосы частот, начинающейся с нулевой частоты, т. е. с постоянного тока. Разумеется, такая задача нереальна. Практически приходится итти на некоторые сравнительно небольшие искажения формы принимаемых импульсных сигналов и устанавливать ширину полосы



Фиг. 28. Скелетная схема приемника радиолокационной станции.

пропускания частот в радиолокационном приемнике в 2—5 *мггц*, причем нижний предел этой полосы начинается с частоты в 30 *гц*, как в высококачественных усилителях для граммзаписи. Сравнивая эту полосу пропускания с нормальной величиной полосы для радиовещательного приемника (9 *кгц*), можно себе представить, насколько труднее конструировать приемник импульсных сигналов.

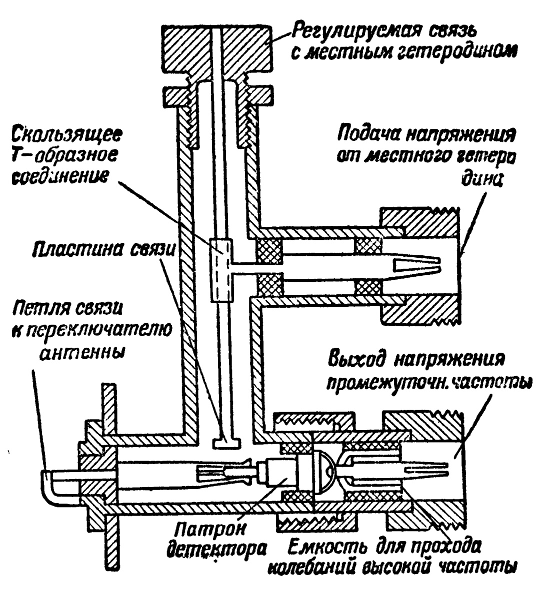
Полоса пропускания радиолокационного приемника обратно пропорциональна длительности импульса. Чем короче импульс, тем шире должна быть полоса пропускания. При длительности импульса, например, в 2 *мксек* ширина полосы равняется 1 *мггц*.

Требование широкой полосы пропускания радиолокационного приемника противоречит возможности осуществления приведенного выше второго требования к таким приемникам высокой чувствительности. Чем у́же полоса пропускания, тем более выгодным является отношение сигнала к шуму. Однако, сужение полосы пропускания в сколько-нибудь значительной степени невозможно, потому что, как только что было сказано, это вызывает искажение принимаемых импульсных сигналов. Между этими исключающими друг друга требованиями приходится выбирать среднее решение: устанавливать такую полосу, которая, с одной стороны, дает наилучшее возможное отношение сигнал/шум, а с другой стороны, не дает заметных искажений формы принимаемых импульсов.

При усилении на метровом диапазоне волн нужно считаться с тем, что входное сопротивление лампы, определяемое конечным временем пролета электронов и емкостью сетка-катод, резко падает; колебательные контуры при таких частотах имеют очень низкие резонансные свойства. В этих условиях лампы, применяемые в каскадах усиления высокой частоты, должны иметь большую крутизну. Такую крутизну можно осуществить, если сблизить между собой сетку и катод лампы, но от этого возрастает междуэлектродная емкость, т. е. уменьшается входное сопротивление. Чтобы не менять величину этой емкости при увеличении крутизны, необходимо уменьшать размеры электродов лампы. По этим причинам в каскадах высокой частоты радиолокационных приемников метрового диапазона применяются лампы типа «жолудь».

Преобразование частоты. В радиолокационных приемниках в качестве смесителя обычные многоэлектродные лампы—пентагриды, октоды, гексоды — не применяются, так как им свойственна склонность к большому шуму, а входное сопротивле-

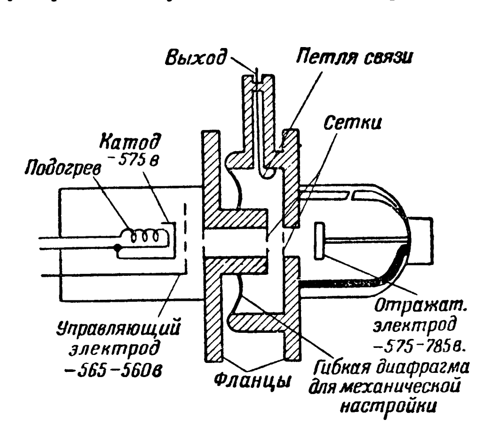
ние их очень мало. Вместо таких ламп на метровом диапазоне применяются триоды, на управляющую сетку которых подаются напряжение принимаемого сигнала и напряжение от отдельного гетеродина. На дециметровых волнах триод заменяется простым диодом, потому что он имеет малую входную емкость (большое входное сопротивление) и малый уровень шумов. По мере дальнейшего укорочения рабочей волны—при переходе к волнам сантиметрового диапазона — и диод в качестве смесителя становится непригодным. Он не может детектировать, потому что электроны в силу конечного времени пролета их внутри лампы по сравнению с частотой колебаний в этом диапазоне не попадают в нужные моменты времени на анод. Из-за отсутствия ламп, пригодных для усиления и смешения при столь высоких частотах, приходится пользоваться преобразовательным каскадом на кристаллическом детекторе (фиг. 29), играющем роль того же диода. Для детектирования на сантиметровых волнах применяются кристаллы кремния, проходящие специальную обработку. Контакт с кремнием осуществляется острием пружинки из вольфрама. Кремний и пружинка помещаются в небольшом патроне и заливаются изоляционной массой для защиты от сырости и механических повреждений. По сравнению с диодом кристаллический детектор имеет меньшую емкость (поверхность кристалла — острие пружинки), а влияние времени пролета электронов уменьшается тем, что пространству анод — катод диода соответствует участок кристалл — острие пружинки. Слабым



Фиг. 29. Схема кристаллического смесителя.

местом кристаллического детектора является его малая механическая прочность и опасность даже небольших перенапряжений.

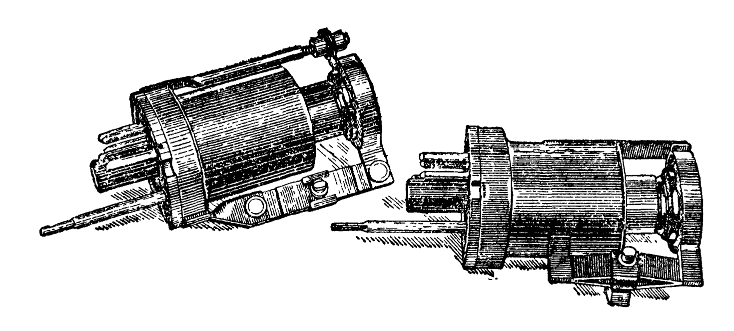
Петля связи в левой части схемы (фиг. 29) воспринимает энергию отраженного импульса от переключателя антенны и подает ее на кристалл. Напряжение, создаваемое местным гетеродином, подается через Т-образное соединение; внутренний проводник коаксиальной линии связи заканчивается пластиной, через которую осуществляется емкостная связь гетеродина с детектором. Величину связи с гетеродином можно регулировать путем изменения расстояния между пластиной и детектором, пока выпрямленный ток через детектор не достигнет заданного значения (обычно порядка 0,5 миллиампера). Выпрямленное напряжение по коаксиальной линии подается на предварительный усилитель промежуточной частоты.



Фиг. 30. Схематический разрез отражательного клистрона.

Лампой местного гетеродина приемника радиолокационной станции, работающей в сантиметровом диапазоне волн, является так называемый отражательный клистрон (фиг. 30). Принцип действия его заключается в следующем: электроны, вылетающие из катода, ускоряются под действием напряжения в 575—560 *в*, приложенного к управляющему электроду, оказывающему, кроме того, и фокусирующее действие. Далее поток электронов проходит через центральную часть объемного резонансного контура, а затем через две сетки, являющиеся стенками объемного контура. Пролет электронов через объемный контур заставляет последний генерировать слабые колебания, и потенциал между двумя сетками изменяется, как бы модулируется с несущей частотой. Вследствие такого изменения потенциала электроны, пролетающие между этими сетками, приобретают соответствующее замедление или ускорение в зависимости от скорости электронов и от изменения раз-

ности потенциалов. Иначе говоря, электроны оказываются промодулированными по скорости: те из них, которые получили ускорение, пролетая между сетками в тот момент, когда на них был повышенный потенциал, догоняют электроны, замедленные или не получившие такого ускорения. В итоге электроны в потоке их оказываются не однородными по скорости, а собираются в группы. Эти группы электронов в своем дальнейшем полете вступают в замедляющее поле отражательного электрода, к которому приложено отрицательное напряжение минус 700 *в*. Под действием этого поля электроны поворачивают обратно. Процесс группирования при этом продолжается, и сгустки электронов вновь проходят через объемный кон-



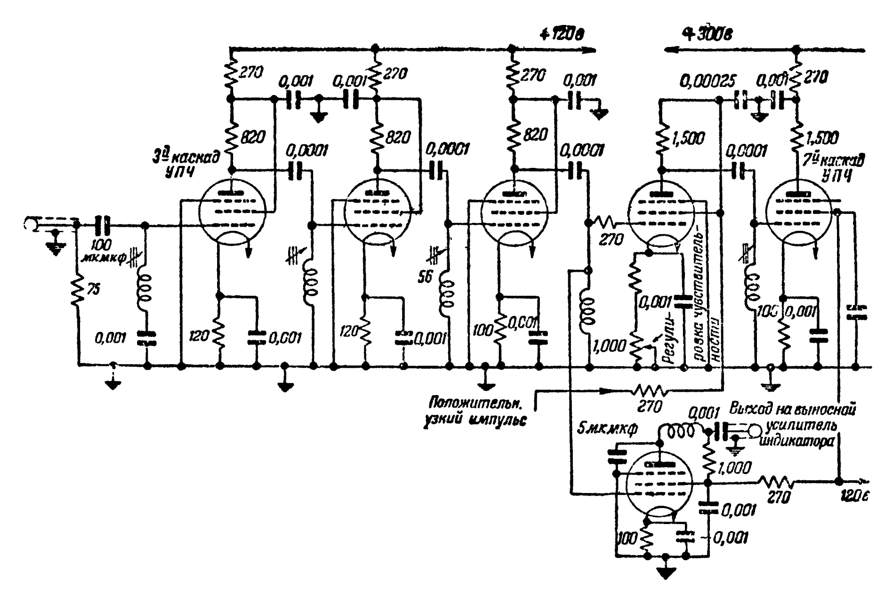
Фиг. 31. Наружный вид отражательного клистрона.

тур. Если скорость электронов и напряжение на отражательном электроде подобраны правильно, в соответствии с длиной волны и размерами клистрона, то сгустки электронов возвращаются в объемный контур уже под таким потенциалом, при котором они максимально тормозятся и отдают свою энергию контуру. В результате такой отдачи кинетической энергии колебания в объемном контуре заметно возрастают, пока не наступит равновесие между энергией, поглощаемой контуром с помощью петли связи, и энергией, подводимой к клистрону. Отражательные клистроны генерируют мощность порядка нескольких сот милливатт.

Частота генерируемых колебаний зависит не только от частоты колебаний объемного контура, но и от фазы, с которой электроны возвращаются в контур. Эту фазу можно менять изменением напряжения на отражательном электроде. Этим методом производится автоматическая настройка гетеродина на частоту передатчика радиолокационной станции. Наружный

вид металлического клистрона показан на фиг. 31. Боковые винты служат для предварительной механической подстройки объемного контура клистрона.

Усиление промежуточной частоты. При очень малой мощности отраженного импульса, поступающего в приемник радиолокационной станции, при отсутствии усиления его в кристаллическом смесителе, задача усиления принятого сигнала целиком осуществляется усилителем промежуточной частоты. С целью уменьшения потерь принятого отраженного импульса



Фиг. 32. Схема усилителя промежуточной частоты.

конструкторы приемников радиолокационных станций сантиметрового диапазона нередко вынуждены выносить смесители и первые каскады предварительного усиления промежуточной частоты ближе к антенне станции, чтобы таким образом избежать потерь энергии принятого импульса при передаче его по кабелю или волноводу. Только после того, как принятый сигнал будет несколько усилен на промежуточной частоте, это напряжение можно подать по кабелю в дальнейшие каскады того же усиления, расположенные уже в кабине радиолокационной станции.

Сложность конструирования усилителя промежуточной ча-

стоты для приемника радиолокационной станции лишь немногим меньше, чем сложность конструирования всего приемника в целом. Единственным облегчением задачи конструктора является возможность применения электронных ламп, потому что в этом случае усиливаемая частота все же значительно ниже, чем частота принимаемого сигнала, и, следовательно, входное сопротивление ламп играет меньшую роль. Однако, требования к ширине полосы пропускания остаются без изменения. С этой целью связь между каскадами усилителя искусственно притупляют путем включения параллельных сопротивлений, расширяя таким способом полосу пропускания, однако за счет снижения величины усиления на каскад. Иногда с той же целью прибегают к умышленной расстройке контуров. Так, например, из 5 каскадов усиления промежуточной частоты первый и третий настраивают на среднюю частоту (допустим, 9,5 *мггц*), второй и четвертый на 12,5 *мггц*, а последний, пятый каскад на заранее выбранное истинное значение промежуточной частоты 11 *мггц*. Выбор величины промежуточной частоты определяется нижним пределом полосы пропускания приемника, с одной стороны, и практическими возможностями обеспечить верхний предел, с другой стороны.

Приведенная на фиг. 32 схема усилителя промежуточной частоты радиолокационного приемника отличается следующими особенностями: входное напряжение на первый каскад усилителя подается по коаксиальному кабелю от предварительного двухкаскадного усилителя, расположенного, как уже было сказано, около антенны станции. Обычных для радиовещательных супергетеродинов полосовых фильтров здесь нет и вместо них применены одиночные контуры. Элементы междукаскадной связи находятся в цепи сетки следующей лампы (реже — в цепи анода предыдущей лампы), чтобы уменьшить сопротивление сеточной цепи, которое увеличивает время восстановления приемника после перегрузки его мощным импульсом передатчика. Анодной нагрузкой каждого каскада является сопротивление в 820 *ом*. В усилителе применены пентоды 6АС7, имеющие большую крутизну характеристики.

Усиление низкой частоты. Второй детектор в радиолокационных приемниках встречается не всегда: на отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки можно подавать непосредственно напряжение промежуточной частоты. В тех же случаях, когда на трубку предусмотрена подача выпрямленного напряжения, то вторым детектором бывает обычно диод, за которым следует несколько каскадов широкополосного усиления

низкой частоты (видеочастоты). Полоса пропускания этих каскадов определяется, с одной стороны, частотой, соответствующей частоте повторения импульсов, установленной для данной радиолокационной станции, и с другой—длительностью импульса, определяющей наиболее высокую частоту (обычно порядка 3 *мггц*). Во всей этой полосе частотная характеристика усилителя должна быть равномерна, чтобы обеспечить неискаженное воспроизведение импульса на экране. Одним из способов удовлетворения этим требованиям является применение схемы широкополосной коррекции с сопротивлениями в сеточной цепи и индуктивностями — в анодной. На средних и низких частотах реактивное сопротивление индуктивности мало и им можно пренебречь; усилитель по такой схеме ничем не отличается от обычной схемы усиления на сопротивлениях. На высоких частотах, однако, реактивное сопротивление индуктивности становится заметным и обычно падающая при усилении высоких частот характеристика усилителя поддерживается на относительно хорошем уровне вплоть до частот в несколько мегагерц. Существуют сложные схемы коррекции, обеспечивающие равномерное усиление до 10 *мггц*. Величина усиления усилителя видеочастоты мала из-за малой величины сопротивлений *R*, почему приходится применять пентоды с большой крутизной характеристики.

Автоматические регулировки. В приемниках радиолокационных станций встречается ряд автоматических регулировок работы схемы. Имеется, например, автоматическая регулировка частоты настройки. Если частота передатчика изменяется, то схема АРЧ автоматически изменяет напряжение на отражательном электроде клистрона, что меняет частоту, генерируемую местным гетеродином. Применяются регулировки, позволяющие оператору выбрать на экране индикатора станции лишь один отраженный импульс от той цели, за которой нужно вести наблюдение. Установив визир на этот импульс, оператор включает этим схему формирования вспомогательных импульсов. Эта схема запирает приемник на все время поступления в него импульсов от других целей и открывает приемник посылкой узкого положительного импульса прямоугольной формы, который подается точно перед моментом прихода отраженного импульса от выбранной цели (фиг. 32). Этот импульс положительной полярности прикладывается к экранирующей сетке лампы шестого каскада усилителя промежуточной частоты. При отсутствии этого импульса экранирующая сетка находится под потенциалом земли, и каскад не работает. На время

приложения узкого импульса лампа отпирается и пропускает сигнал на следующий каскад усиления промежуточной частоты.

Если усиление приемника постоянно, то импульсы, отраженные от целей, расположенных на близком расстоянии, будут казаться на экране индикатора более яркими (при яркостной модуляции экрана), чем импульсы от целей на большем расстоянии. Подобное засвечивание экрана может мешать распознаванию обнаруженных объектов. Поэтому в схему вводят контур, управляющий чувствительностью приемника так, что она уменьшается в момент излучения зондирующего импульса (или несколько ранее) и затем постепенно возрастает. Для защиты вредного воздействия излучаемого передатчиком импульса на входные контуры приемника иногда применяют выключение на этот период времени приемника путем срыва работы местного гетеродина, что осуществляется специальной лампой, которая обычно заперта и открывается в момент излучения импульса передатчиком, шунтируя этим цепь гетеродина.

6. Индикаторы

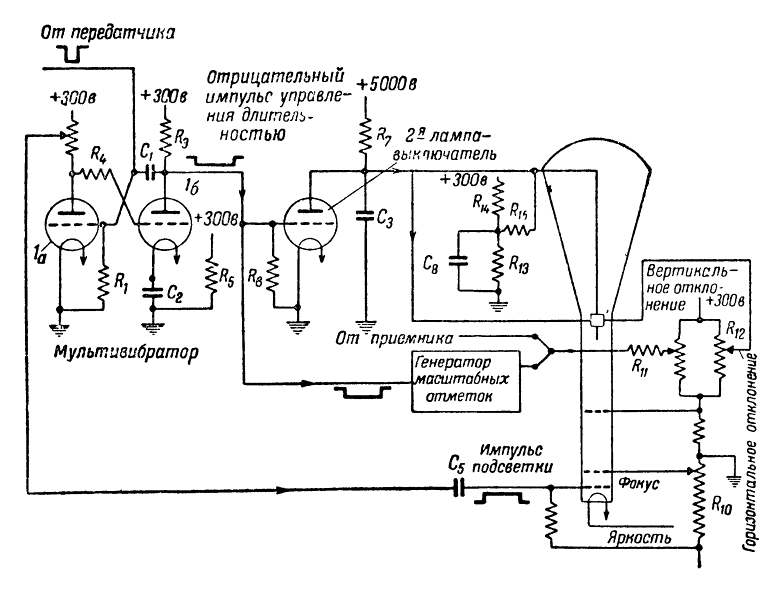
С выхода приемника напряжение отраженных импульсов поступает на индикаторы радиолокационной станции. Возможны два метода воспроизведения импульсов на экранах электронно-лучевых трубок, применяющихся в индикаторах.

1. Отклонение электронного пучка под действием напряжения импульса на линии развертки. Напряжение, развертывающее световое пятно на экране в горизонтальную линию, подается на одну пару отклоняющих пластин электронно-лучевой трубки, а выходное напряжение от приемника — на вторую пару пластин.

2. Яркостная модуляция. Напряжение с выхода приемника подается на управляющий электрод трубки, а развертка световой линии осуществляется специальными схемами, отклоняющими электронный луч. Интенсивность свечения экрана в том месте его, где появляется отраженный импульс, зависит от напряжения на выходе приемника.

В первом случае чаще применяются электронно-лучевые трубки с электростатическим отклонением луча, а во втором — трубки с электромагнитным отклонением. В трубках первого типа фокусировку луча и его отклонение осуществляют с помощью электрических полей, а в трубках второго вида для этой цели применяют магнитное поле.

В индикаторах радиолокационных станций помимо электронно-лучевых трубок имеются ламповые схемы, создающие напряжения и токи для развертки электронного луча. Схемы разверток индикаторов называют часто «ждущими развертками», потому что такие схемы начинают отклонять луч лишь после того, как поступит пусковой импульс от синхронизатора или передатчика радиолокационной станции. Этот пусковой импульс определяет скорость развертки и ее длительность.



Фиг. 33. Схема индикатора с разверткой типа А.

В большинстве схем электронный луч заперт и отпирается лишь во время действия развертки с целью предохранения экрана трубки от разрушения.

На фиг. 33 показана схема индикатора радиолокационной станции с трубкой электростатического отклонения, на экране которой воспроизводится развертка типа А. Длительность развертки определяет однотактный мультивибратор, запускаемый импульсом от передатчика. Напряжение с выхода мультивибратора воздействует на лампу — электронный выключатель, управляющий работой генератора развертки. Развертка длится на экране лишь в течение времени, когда лампа-выключатель заперта. Таким образом, длительность импульса мульти-

вибратора определяет собой длительность развертки. На фиг. 33 лампа *1а* проводит, а лампа *1б* заперта, потому что величина сопротивления R_1 подобрана так, что напряжение на катоде значительно выше напряжения на сетке, которое в свою очередь равно напряжению анода лампы *1а*. Поступающий от передатчика короткий пусковой импульс отрицательной полярности запирает лампу *1а* и открывает лампу *1б*. В таком положении лампы мультивибратора остаются до тех пор, пока конденсатор C_1 не разрядится через сопротивление R_3 и лампу *1б* настолько, что напряжение на сетке лампы *1а* станет выше запирающего значения и схема мультивибратора вернется в исходное положение.

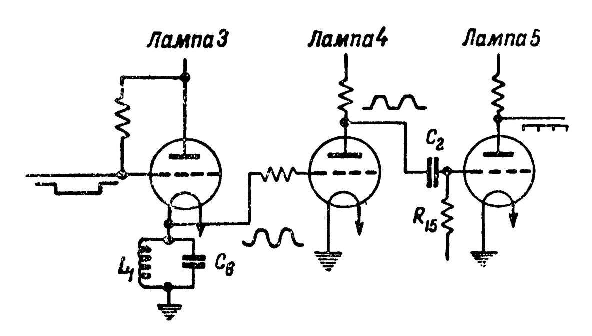
Развертка, начиная с момента, когда лампа-электронный выключатель заперта, должна быть линейной. До начала развертки лампа-выключатель проводит, и разность потенциалов на конденсаторе C_2 мала, если велико сопротивление R_5. При запирании лампы-выключателя конденсатор C_3 начинает заряжаться по экспоненциальному закону через сопротивление R_7. Если приложенное напряжение велико (5 000 *в*) по сравнению с амплитудой напряжения развертки (200—300 *в*), конденсатор C_3 будет заряжаться только малую часть времени, определяемую произведением $R_c \times C$ (постоянной времени), и возрастание напряжения будет иметь примерно линейный характер.

Напряжение развертки поступает на одну из горизонтально-отклоняющих пластин трубки (фиг. 33), тогда как напряжение на другой пластине постоянно. Электронный луч в силу этого отклоняется, и по экрану с постоянной скоростью пробегает световая линия. Она видна потому, что в это время прямоугольный импульс положительного напряжения поступает на управляющий электрод трубки, находящийся обычно под отрицательным смещением, и открывает проход электронному лучу.

В других типах индикаторов напряжение развертки подается на обе отклоняющие пластины с помощью двухтактного усилителя. Такой метод улучшает линейность развертки, так как изменение напряжения на каждой отклоняющей пластине меньше.

Наиболее простой способ определения расстояния до обнаруженной цели — это нанести шкалу расстояний на экран трубки и по ней определять дальность цели. Однако, этот способ неточен и может привести к ошибке вследствие возможных изменений параметров схемы генератора развертки, изме-

нения температуры, влажности, смены ламп и т. д. Для проверки правильности линии развертки применяют генератор масштабных отметок. Он представляет собой генератор синусоидальных колебаний строго определенной частоты и контуров, деформирующих это напряжение в острые импульсы. Эти импульсы затем подаются на вертикально отклоняющие пластины трубки. Схема такого генератора показана на фиг. 34. В этой схеме импульс отрицательного напряжения от мультивибратора запирает лампу *3*. Пока потенциал лампы *3* отрицателен, колебания в контуре L_1—C_6 несколько подавляются. Лампа *4* — усилитель, работающий в режиме насыщения, превращает синусоидальное напряжение в прямоугольные импульсы.



Фиг. 34. Схема генератора отметок масштаба.

Конденсатор C^2 и сопротивление R_{15} образуют схему, подающую пики положительного и отрицательного напряжения на сетку лампы *5*. На сетку этой лампы постоянно подано отрицательное смещение, поэтому она открывается и делается проводящей только в моменты приложения положительных импульсов. При прохождении через лампу полярность импульсов меняется, и они вновь становятся отрицательными по знаку, а затем подаются на вертикально отклоняющую пластину трубки, вызывая появление на экране вертикальных линий, служащих для проверки масштаба.

В радиолокационных станциях, где требуется высокая точность измерения дальности, применяются специальные весьма сложные схемы, вырабатывающие сигналы с калиброванными промежутками времени, с которыми и сравниваются промежутки времени с момента излучения зондирующего импульса до момента приема отраженного сигнала.

ПРИМЕНЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИИ

Противовоздушная оборона. На первом этапе своего развития радиолокационные станции считались средством пассивной обороны. Однако, непрерывное развитие и совершенствование радиолокации в ходе войны вскоре показало, что эту технику можно применить для создания нового способа борьбы с самолетами противника, а именно — для наведения своих истребителей на вражеские бомбардировщики. Для этой цели были созданы специальные наземные станции. Получив сообщения о том, что станциями дальнего обнаружения замечены вражеские самолеты, командование истребительной авиации включало станции наведения, отдавало приказ истребителям вылететь в район нахождения вражеских самолетов. Офицер, находившийся у индикатора станции, наблюдал отраженные импульсы своих и вражеских самолетов, по радиотелефону передавал своим пилотам сведения о курсе, высоте и скорости бомбардировщиков и кратчайшим путем сближал свои истребители с противником до расстояния в 1,5—2 *км*.

Опыт применения радиолокационных станций во время войны показал, что эта новая военная техника для эффективного ее использования зачастую требует изменения тактики и при правильном применении дает отличные результаты. Так, трижды Герой Советского Союза, полковник А. И. Покрышкин в своих воспоминаниях («Крылья истребителя», Воениздат, 1948 г.) рассказывает, как применялись радиолокационные станции в авиачасти, которой он командовал.

Получив задание охранять переправы через водную преграду на фронте, командир части умело применил радиолокационную станцию для того, чтобы с ее помощью наблюдать за воздушной обстановкой в районе переправы. Пока в воздухе было спокойно, истребители авиачасти т. Покрышкина находились на земле, а не патрулировали над переправой, что обычно приводило к расходованию большого количества бензина и износу материальной части и не защищало от внезапного нападения вражеских бомбардировщиков.

Лишь только на экране станции появлялись на большом расстоянии импульсы, отраженные от вражеских бомбардировщиков, взявших курс на переправу, как в воздух мгновенно взмывали наши истребители, посланные на перехват противника. По радио они получали точные сведения о курсе, высоте, количестве самолетов противника и команды, позволяв-

шие им прибыть кратчайшим путем в нужное место. Истребители встречали немецкие самолеты еще по ту сторону линии фронта, вступали с ними в бой, заставляя их сбрасывать бомбы на голову своих же войск, чтобы попытаться спастись бегством. Пользуясь этим тактическим методом, говорит т. А. И. Покрышкин, «мы в течение длительного времени надежно охраняли переправы — в наше дежурство на них не упало ни одной бомбы, зато сбитые немецкие бомбардировщики падали в этом районе довольно часто».

Тов. А. И. Покрышкин приводит также и другой пример боевого применения радиолокации. Однажды радиолокационные станции обнаружили несколько групп немецких истребителей, летевших перед своими бомбардировщиками. Когда навстречу им вылетел воздушный патруль трижды Героя Советского Союза Ивана Кожедуба, немецкие истребители разбились на две группы: одна вступила в бой и, отбиваясь от атак, постепенно уходила на северо-запад. Вторая группа немецких истребителей участия в воздушном бою не приняла и стала патрулировать несколько в стороне. Немецкий замысел был, однако, быстро разгадан. Как только патруль советских истребителей, преследуя немецкие самолеты, отошел от района переправ, в воздухе появились немецкие бомбардировщики. Немецкое авиационное командование, видимо, рассчитывало, что отвлечение советских истребителей от их задачи — охраны переправ, поможет немецким бомбардировщикам разрушить эти переправы. Немцы, однако, просчитались. Приближение немецких бомбардировщиков было еще издалека замечено на радиолокационной станции и навстречу им была выслана новая группа советских истребителей. Скоротечный бой принес нашим летчикам победу.

Подобная умелая тактика применения радиолокации военно-воздушными силами Советской армии позволяла экономить горючее, моторесурсы, силы летчиков и в то же время обеспечивала в нужный момент превосходство в воздухе.

При ночном наведении пилоты ночных истребителей, выйдя по указаниям наземной станции в район, где находятся самолеты врага, включали здесь свои самолетные радиолокационные станции, имевшие небольшую дальность, и с помощью такой станции сближались с противником и атаковали его.

Небольшие радиолокационные станции были установлены также на прожекторах. При ночных налетах операторы радиопрожекторных станций наводили прожектор в темноте точно на цель, а затем включали луч и благодаря этому сразу же

освещали противника, не демаскируя себя преждевременно, не тратя времени на поиски цели.

Роль радиолокационной техники в ПВО еще более возросла, когда в процессе развития и совершенствования аппаратуры были созданы станции, служившие специально для наводки орудий зенитной артиллерии на невидимые цели в воздухе.

Опознавание. Для успешного применения радиолокационных станций требовался такой прибор, который помогал бы определить, чей самолет или корабль обнаружен, свой или вражеский. Такой прибор представлял собой приемо-передатчик небольших размеров, устанавливавшийся на своих кораблях и самолетах. Лишь только импульсы радиолокационной станции достигали самолета в воздухе, их воспринимала приемная часть прибора. Она приводила в действие передатчик, который излучал свой ответный сигнал, являвшийся опознавательным. Он появлялся и исчезал на экране радиолокационной станции через определенные промежутки времени и был виден рядом с импульсом, отраженным от самого самолета, Ответные импульсы можно было кодировать: изменять по расписанию периодичность их посылки, длительность появления на экране. Наличие такого прибора (его называли «Я—свой») облегчило дальнейшее развитие боевого применения радиолокации.

Применение новой военной техники—радиолокации в ПВО уже на первых порах потребовало умелого ее использования и пересмотра тактики. В истории второй мировой войны насчитывается достаточно много примеров, убедительно показывающих, к чему приводила недооценка радиолокации или неумелое применение ее. Внезапное нападение японских самолетов на стоянку американского военного флота в Пирл-Харбор (Гавайские острова) нанесло большие потери. Как было установлено впоследствии специальной комиссией по расследованию обстоятельств нападения, «внезапность» налета могла быть предотвращена, так как американская радиолокационная станция дальнего обнаружения самолетов, установленная на одном из островов, своевременно обнаружила большую группу самолетов в воздухе, о чем оператор станции доложил командованию. Однако, этому донесению командование не придало должного значения.

Расположенные на берегах Англии радиолокационные станции дальнего обнаружения, содействуя обороне от немецких бомбардировщиков, в то же время иногда бывали причиной

ложных тревог, особенно в то время, когда англичане панически боялись немецкого десанта на берегах побережья. Причиной тревог оказывались.. стаи птиц, обнаруженные радиолокационными станциями и принятые за группы самолетов и планеров. В 1941 г. такие тревоги случались особенно часто не только в самой Англии, но и на острове Мальта в Средиземном море, в Гибралтаре, на Новой Зеландии. Известно также, что в 1943 г. в американском городе Сан-Франциско была объявлена воздушная тревога из-за того, что береговая радиолокационная станция приняла стаю птиц за... японские самолеты.

Когда в конце второй мировой войны немцы начали обстрел Лондона летающими бомбами (Фау-1), то для борьбы с ними англичане расположили зенитные батареи с приданными к ним радиолокационными станциями орудийной наводки непосредственно в городе у охраняемых объектов и неподалеку от города. Применение радиолокационных станций совместно с радиовзрывателями в снарядах (вместо дистанционных трубок) значительно повысило эффективность зенитного огня. Однако, вскоре же обнаружилось, что зенитные батареи, ведя меткий огонь и подбивая летающие бомбы, зачастую как бы помогали им поразить цель. Так, в частности, зенитная батарея, охранявшая мост Ватерлоу в Лондоне, соединявший два крупнейших вокзала и одну из основных линий метро, подбив летающую бомбу, приземлила ее как раз на охраняемый мост.

Радиолокация на море. На современном корабле можно насчитать до 30 различных радиолокационных станций, несмотря на то, что для установки такого количества надо было разрешить очень много технических трудностей: наивыгоднейшим образом расположить антенны этих станций при ограниченности места на мачтах, устранить взаимные помехи при работе этих станций одновременно с телеграфно-телефонными радиостанциями и т. д. Станции, обладавшие высокой точностью, служили для стрельбы корабельной артиллерии; станции с меньшей точностью давали более полную информацию о воздушной и надводной обстановке. Такими станциями являлись: станции дальнего обнаружения самолетов и кораблей, станции наведения истребителей, привода самолетов обратно после выполнения задания и т д. Общая картина воздушной и морской обстановки на корабле определялась по нанесенным на карту донесениям всех радиолокационных станций и других средств разведки.

Радиолокационные станции различного типа, установлен-

ные во время войны на кораблях англо-американского военного флота, потенциально значительно увеличили мощь кораблей, облегчая задачи самообороны линкоров, повышая меткость их тяжелых орудий, особенно в условиях плохой видимости, позволяя вести ночные бои с меньшим риском внезапного нападения торпедных катеров, случайных и неожиданных столкновений. Однако, выдающихся морских сражений за период второй мировой войны не было. Нельзя считать, что так называемый «бой» у мыса Матапан (южная оконечность Балканского полуострова) является «победой» английского флота, как пытается доказать это английская печать. С английской стороны участвовали тяжелые линкоры, тихоходные, но вооруженные хорошей артиллерией и радиолокационными станциями, а с итальянской стороны—более быстроходные крейсеры, но с меньшим артиллерийским вооружением и вовсе не имевшие радиолокационных станций. Английские линкоры, пользуясь темнотой и зная об отсутствии торпедных аппаратов на итальянских кораблях, без риска приблизились на сравнительно близкое расстояние к итальянской эскадре и с помощью радиолокационных станций нанесли последней серьезные повреждения.

Возможно, что без применения радиолокации английская эскадра не смогла бы найти в Атлантике немецкий линкор «Бисмарк», причинявший большие потери торговым кораблям Англии, несмотря на ее превосходство в силах на море. Трехдневный бой с «Бисмарком» проходил преимущественно с помощью радиолокации, так как другие средства наблюдения помочь не могли: над морем стояли низкие темные облака, туман и шел сильный дождь. В этом морском сражении радиолокационная аппаратура применялась обеими сторонами. «Бисмарк» пошел ко дну от попадания трех торпед после того как был предварительно поврежден огнем артиллерии. Однако, «Бисмарк» своим огнем пустил ко дну наибольший по водоизмещению в то время у Англии крейсер «Худ». По утверждению американцев, причина гибели «Худа» заключалась в консервативности командования английского крейсера. Дистанцию до «Бисмарка» на «Худе» определяли по показаниям оптического дальномера и радиолокационной станции. Когда между ними оказалось расхождение, то командование предпочло довериться показаниям дальномера. Залп с «Худа» лег с недолетом: дистанцию правильно определила радиолокационная станция и неверно — дальномер. Внести поправку уже не удалось: ответные снаряды «Бисмарка» пробили броневой пояс «Худа»

и по случайности попали в артиллерийский погреб. Последовал взрыв, и крейсер быстро пошел ко дну.

В хмурые туманные декабрьские дни 1943 г. из портов Англии вышел огромный караван грузовых кораблей. Корабли везли военные грузы в один из северных морских портов СССР. На некотором расстоянии от каравана шел отряд военно-морских кораблей, составляющих его охрану. У северных берегов Норвегии караван был обнаружен немецкой воздушной разведкой. Навстречу каравану вышел немецкий линкор «Шарнхорст». Ему было приказано перерезать путь каравану, не пропустить его.

Обнаруженный с помощью радиолокационной аппаратуры немецкий линкор был встречен огнем военно-морских кораблей охранения. «Шарнхорст» попытался уйти, несколько раз его отраженный импульс исчезал с экранов радиолокационных станций. До прибытия подкрепления к кораблям охранения бой с «Шарнхорстом» вели эсминцы почти исключительно с помощью радиолокации. Они отвлекали на себя внимание корабля, пока незаметно не приблизился вызванный по радио линкор. Бой с «Шарнхорстом», закончившийся потоплением последнего, протекал в течение 10 часов. «Шарнхорст» был во-время обнаружен с помощью радиолокационных станций; они же помогли ведению огня в условиях полярной ночи, корректируя стрельбу по наблюдениям на экране за отражениями от столбов воды при разрыве снарядов, и в большой мере решили исход боя.

Преувеличивая роль своего флота в войне на Тихом океане, американцы рассказывают об одной операции крейсеров в районе Соломоновых островов, в безопасности которой основную роль сыграла радиолокация, но избегают вспоминать о том, как неправильное тактическое применение радиолокации дало себя знать в ночном бою у Гвадалканала, в 1942 г. Отряд американских кораблей, ведя поиски противника с помощью радиолокационных станций, последовательно, одну за другой обнаружил три группы японских кораблей, а затем и четвертую. Наблюдая за ними в определенных направлениях, командование отряда, видимо, прекратило наблюдение за обстановкой на море вокруг американских кораблей и поэтому внезапно для себя американский отряд попал под огонь пятой группы японских кораблей и получил тяжелые потери и повреждения. Этот пример еще раз подтверждает, что само по себе наличие радиолокации еще недостаточно: требуется, кро.

ме того, умелое тактическое применение этой новой военной техники.

Помимо боевого применения радиолокационные станции на кораблях позволяли решать ряд навигационных задач, ранее затруднявших судоходство. Туман и плохая видимость потеряли свое значение — экран станции показывал объекты впереди и вокруг корабля. Очертания берегов позволяли сравнить их с картой и определить, таким образом, положение корабля.

Борьба с подводными лодками. Самой значительной помощью радиолокации на море была ликвидация немецкой подводной блокады. В 1941 г. немцы топили в день до 3—5 больших кораблей англичан, американцев, доставлявших военную технику, боеприпасы, стратегическое сырье и продовольствие в Англию. Действия подводных лодок поэтому были серьезнейшей опасностью. С появлением устанавливавшихся на патрульных самолетах морской авиации станций, специально построенных для обнаружения всплывших на поверхность моря лодок, действия последних стали затруднительными. Применение радиолокационной техники помогало защищать караван от нападения лодок, ночью и в тумане, как и днем; оно изменило ход подводной войны, позволяя после обнаружения подводной лодки вести преследование ее, т. е. перейти от обороны к наступательным действиям.

Радиолокация в авиации. В первые годы второй мировой войны преимущества воздушного флота — его скорость, способность летать на большие расстояния, нести значительную бомбовую нагрузку — использовались далеко не полностью. Основным препятствием было отсутствие средств местоопределения. При плохой погоде бомбардировщик не мог выйти точно на цель, найти ее. Не было аппаратуры для бомбометания вслепую. Поэтому большие надежды возлагались на новые радионавигационные системы и самолетные радиолокационные станции, служившие для бомбометания через облака. На экране такой станции воспроизводится грубая карта местности, над которой пролетает самолет. Импульсы радиоволн излучаются узким лучом, вращение антенны и изменение угла наклона ее позволяют просматривать землю с расстояния в 50—70 *км*. Импульсы, излучаемые такой станцией. падают на землю под различными углами. В зависимости от угла падения, свойств отражающей поверхности и положения самолета к нему возвращалось то или иное количество отраженной энергии. Вода, например, отражала импульсы под тем

же углом, под которым они падали, поэтому отраженных импульсов от водных пространств на экране индикатора не наблюдалось. Очертания берегов реки, озера были светлыми в тех местах, где кончалась вода и начиналась земля. Темный фарватер реки, таким образом, резко очерчивался светлыми отражениями берегов и поэтому относительно легко распознавался. Застроенные площади на земле представляли собой поверхности с различными углами отражения и создавали достаточно мощные отраженные импульсы. Города различались как яркие пятна на экране индикатора. При приближении самолета, оборудованного такой станцией, к цели штурман включал устройство, создающее на экране светящееся кольцо, изображающее в масштабе величину упреждения для сброса бомб. Когда это кольцо пересекалось с целью, надо было нажать кнопку бомбосбрасывателя.

На современном тяжелом военном самолете можно насчитать свыше 10 радиолокационных станций. Они помогают обнаружить в воздухе другой самолет, защищают хвост бомбардировщика от приближения сзади вражеского истребителя, участвуют в наведении самолетных пушек и пулеметов на цель, облегчают полет в строю массированного соединения, помогают возвращаться к своим аэродромам после выполнения боевого задания и т. д.

Официальные брошюры по истории радиолокации, изданные в США и Англии, рассказывают о ней только с самой выгодной стороны, тщательно умалчивая теневые стороны и недостатки. На деле применение радиолокационной и радионавигационной аппаратуры на бомбардировщиках в минувшую войну было очень сложной задачей и далеко не всегда приносило заметные результаты.

Применяя новую систему радионавигации «Джи», англичане на первых порах сбрасывали бомбы в радиусе 3—5 *км* от действительной цели, бомбардировали однажды один город Германии (Хамборн) вместо другого — Эссена. Система оказалась непригодной для бомбардировок вслепую через облака, а лишь помогала выходу бомбардировщиков в район заданной цели, если последняя находилась не далее 400—500 *км* от наземных радиостанций системы «Джи».

Другая система «Обое» обладала большей точностью, но чрезвычайно ограниченной пропускной способностью: она могла проводить над целью один за другим только 5—6 самолетов в течение часа. Кроме того, бомбардировщик, летящий с помощью системы «Обое», должен был итти все время по

строго определенному курсу и поэтому был весьма уязвим для зенитного огня и нападения истребителей противника.

Автономная станция радионавигации и слепого бомбометания, не нуждавшаяся в содействии наземных радиостанций для ведения самолета, нередко на самом деле затрудняла навигацию, потому что изображения на электронно-лучевой трубке на самолете оказывались совершенно непохожими на то, что ожидалось заранее, и штурманам приходилось гадать, где же на самом деле находится самолет.

Наличие радиолокационных станций на англо-американских самолетах привело к тому, что немцы разработали радиоприемники для своих ночных истребителей, рассчитанные на перехват сигналов вражеских самолетных радиолокационных станций и на отыскание, таким образом, этих самолетов ночью или в облаках. Помощь этой аппаратуры была столь значительна, что зачастую англо-американские бомбардировщики получали приказание не пользоваться радиолокационными станциями при полетах над Германией.

ПОСЛЕВОЕННЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

С окончанием войны радиолокационная техника начинает находить различные применения в таких областях народного хозяйства, как навигация в воздухе, на море и на больших реках, в науке, геодезии и т. д.

Еще в 1943 г. академики Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси произвели расчеты, показавшие, что при современных радиолокационных станциях после небольшой переделки их можно послать импульс на Луну и получить его отражение. Такой опыт был проделан в 1946 г. в США. Были отмечены отраженные импульсы от Луны, вернувшиеся на землю через 2,5 сек. С помощью радиолокации производились также регулярные наблюдения за метеорами осенью 1947 г. Помощь этой новой техники была оценена по достоинству потому, что в этот период большая часть метеоров пролетала в утренние и дневные часы, когда обычные астрономические методы наблюдения были бесполезны.

Применяя новые методы точного измерения расстояний с помощью радиоволн и радионавигации, разработанные еще до войны академиками Мандельштамом и Папалекси геодезисты и картографы значительно сокращают время, необходимое для проведения точных съемок и составления карт.

Особенно широкое применение радиолокации намечается в воздушной навигации, где она должна служить безопасности

полетов, предупреждению столкновений, организации диспетчерского управления в аэропортах, осуществлению слепого полета в неблагоприятных условиях и слепой посадки на аэродром.

Не менее важно применение радиолокации и в мореплавании. С помощью радиолокационных станций мореплаватели получают возможность не опасаться столкновений в тумане, входить в порт, узкий пролив, видеть берега и благодаря этому иметь все время точную ориентировку.

Для гражданских нужд нельзя просто приспособить уже имеющиеся конструкции радиолокационных станций военного назначения. Технические требования и конструктивные особенности станций в обоих случаях заметно отличаются друг от друга. Наиболее очевидное мирное применение радиолокации — это воздушная, а также морская и речная радионавигация. Военная радиолокационная аппаратура в этом случае пригодиться не может. На военном корабле она служила в первую очередь для поиска целей на море, в воздухе, для обнаружения их на больших расстояниях, точного определения скорости, курса, высоты. Чем скорее получались такие сведения, тем лучше их можно было использовать, быстрее применить. Такие особенности военных станций, как вес, стоимость, размеры, необходимость в квалифицированном обслуживающем персонале, не имели большого значения.

Иное дело — мирное время. Если радиолокационная станция предназначается для гражданского самолета или для торгово-пассажирского судна, то на первое место выступают такие требования, как простота конструкции, несложный уход и обслуживание, малые размеры, вес, точность определения координат, сравнительно небольшая дальность действия, возможность видеть отражающие объекты на близких расстояниях, высокая разрешающая способность, т. е. раздельное наблюдение объектов, расположенных очень близко друг к другу по расстоянию или по направлению.

Максимальная дальность радиолокационной станции дальнего обнаружения в среднем равнялась 100—150 *км*. Для торгово-пассажирского судна такая дальность не нужна. Капитана судна не интересует, какие корабли находятся у линии горизонта. Имея радиолокационную станцию, он захочет знать, какие суда идут навстречу ему или рядом, на расстоянии 10—12 *км*, потому что при небольшой скорости судна обнаружения на таком расстоянии достаточно для того, чтобы избежать опасности столкновения, увидеть берег, скалы, буи.

В военное время минимальное расстояние, на котором радиолокационная станция могла обнаружить объект, не играло большой роли. Противника нужно было обнаружить на большом расстоянии, а сближаться с ним всегда было опасно. Наоборот, для торгово-пассажирского судна минимальная дальность обнаружения не должна превышать длины самого судна, чтобы оно могло уверенно маневрировать в порту, при входе в гавань.

Из этих тактических отличий вытекают и принципиально иные технические требования к радиолокационным станциям мирного времени. Они должны обладать очень малой длительностью импульса (не более 0,5 *мксек*), очень узкой диаграммой излучения, быть простым, надежно действующим прибором, не требующим особо квалифицированного ухода. Наличие неисправной или плохо работающей радиолокационной станции на судне может принести еще больше бед, чем отсутствие станции вообще.

Требования к радиолокационным станциям для гражданских воздушных сообщений в ряде случаев аналогичны приведенным выше, но, кроме того, имеют и свои особенности. Очевидно, например, что самолетная радиолокационная станция должна быть проста, мала по размерам и весу. Однако, это требование противоречит многочисленности и сложности задач, которые должна решать современная воздушная радионавигация. Удовлетворение этих противоречий возможно следующим путем: самолетная станция выполняет только ряд простых функций, как, например, прием радиосообщений, сигналов с земли, обнаружение препятствий на пути полета, а диспетчерское руководство полетами, наблюдение за самолетами, руководство очередностью посадки, полетами в зоне ожидания, слепой посадкой самолета и т. д. осуществляется с помощью ряда наземных радиолокационных и радионавигационных станций, расположенных в аэропортах, на подходах к ним и на линиях наиболее оживленных воздушных сообщений.

Развитие радиолокации во время второй мировой войны было одним из примеров того, что может дать в итоге объединение различных областей науки и отраслей промышленности для развития новой области техники. Однако, после войны перспективы для радиолокации мирного назначения на Западе изменились. Авиационные компании и предприятия, монополизировавшие морские сообщения, не торопятся с заказами на радиолокационную аппаратуру, настроены выжидательно,

предпочитая не спешить, пока не появятся образцы станций, которые действительно удовлетворят требованиям мирного времени. В свою очередь крупнейшие радиопредприятия США не разрабатывают таких станций в должном масштабе, потому что в эти разработки надо вложить значительные средства на исследования и опыты, понадобится скупить право пользования патентами, часть которых принадлежит государству, а другая часть — конкурирующим фирмам. Такие расходы в капиталистическом мире производятся лишь при уверенности в возможности получения больших заказов. Таким образом, глубокие противоречия, заложенные в самой капиталлистической системе, резко тормозят технический прогресс новой техники в мирных условиях.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 2 р. 50 к.